



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



# Estudio experimental del comportamiento del turbogrupo de sobrealimentación de un motor de encendido provocado de inyección directa de gasolina.

*Autor:*

**César Calabuig Llamas.**

*Especialidad:*

**Ingeniería Mecánica.**

*Dirigido por:*

**Vicente Bermúdez Tamarit.**



# ÍNDICE GENERAL

## Documento 1: Memoria descriptiva.

<b>Capítulo 1: Introducción</b>	<b>11</b>
1.1    Introducción	12
1.2    Objetivos	12
1.3    Antecedentes	13
1.4    Viabilidad	15
1.5    Desarrollo del proyecto	16
1.6    Composición del trabajo	16
1.7    Justificación	18
 <b>Capítulo 2: Descripción general del motor</b>	 <b>19</b>
2.1    Introducción	20
2.2    Motor de encendido provocado	20
2.2.1    Introducción	20
2.2.2    Características principales del motor	21
2.3    Sistema de sobrealimentación	23
2.3.1    Introducción	23
2.3.2    Turbogrupos con tecnología “Wastegate”	23
2.3.3    Turbogrupos con tecnología “VNT”	25
 <b>Capítulo 3: Instalación del motor y el sistema de sobrealimentación</b>	 <b>27</b>
3.1    Introducción	28
3.2    Preparación de la bancada	28
3.3    Preparación del motor	29
3.4    Acoplamiento del turbo VTG	35
 <b>Capítulo 4: Instrumentación y control</b>	 <b>39</b>
4.1    Introducción	40
4.2    Medidas de temperatura	40
4.3    Medida de ángulo de giro del cigüeñal	42
4.4    Medida de velocidad de giro del turbo	43
4.5    Medidas de presión	44

4.5.1	Sensores de presión media. ....	44
4.5.2	Sensores de presión instantánea. ....	45
4.6	Medida de consumo de combustible.....	48
4.7	Medida del flujo de aire. ....	49
4.8	Medida del par y de la velocidad de giro del motor. ....	50
4.9	Sistema de medida y control de parámetros del motor durante los ensayos. ....	52
4.9.1	Lectura de sensores y control de sistemas de sala. ....	52
4.9.2	Lectura y control de parámetros del motor. ....	58
<b>Capítulo 5: Ensayos experimentales y análisis de resultados .....</b>		<b>63</b>
5.1	Introducción. ....	64
5.2	Ensayos preliminares.....	64
5.2.1	Arrastres.....	64
5.2.2	Rodaje.....	65
5.3	Ensayos estacionarios. ....	66
5.3.1	Metodología de ensayo.....	66
5.3.2	Límites de funcionamiento del motor.....	68
5.3.3	Análisis de resultados.....	71
5.4	Ensayos dinámicos. ....	79
5.4.1	Metodología de ensayo.....	80
5.4.2	Análisis de resultados.....	84
<b>Capítulo 6: Conclusiones. ....</b>		<b>91</b>
 <b>Documento 2: Presupuesto.</b>		
1	Introducción.....	97
2	Desglose del presupuesto. ....	99
2.1	Instalación del motor en banco de ensayos.....	99
2.2	Coste de los ensayos. ....	101
2.2.1	Coste del material fungible. ....	101
2.2.2	Amortización de los equipos. ....	102
2.2.3	Coste de la mano de obra. ....	103

<b>3</b>	<b>Presupuesto total.</b>	104
----------	---------------------------	-----

### **Documento 3: Anexo 1. Planos.**

1	Plano del plato de acople de la transmisión.	107
2	Plano de la plancha de sujeción del motor.	109

### **Documento 4: Anexo 2. Bibliografía.**



**DOCUMENTO 1: MEMORIA**  
**DESCRIPTIVA.**





# ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción.....	11
1.1    Introducción. ....	12
1.2    Objetivos. ....	12
1.3    Antecedentes. ....	13
1.4    Viabilidad.....	15
1.5    Desarrollo del proyecto.....	16
1.6    Composición del trabajo. ....	16
1.7    Justificación. ....	18
 Capítulo 2: Descripción general del motor.....	19
2.1    Introducción. ....	20
2.2    Motor de encendido provocado. ....	20
2.2.1    Introducción. ....	20
2.2.2    Características principales del motor.....	21
2.3    Sistema de sobrealimentación.....	23
2.3.1    Introducción. ....	23
2.3.2    Turbogrupos con tecnología “Wastegate”.....	23
2.3.3    Turbogrupos con tecnología “VNT” . ....	25
 Capítulo 3: Instalación del motor y el sistema de sobrealimentación .....	27
3.1    Introducción. ....	28
3.2    Preparación de la bancada.....	28
3.3    Preparación del motor. ....	29
3.4    Acoplamiento del turbo VTG.....	35
 Capítulo 4: Instrumentación y control. ....	39
4.1    Introducción. ....	40
4.2    Medidas de temperatura. ....	40
4.3    Medida de ángulo de giro del cigüeñal. ....	42
4.4    Medida de velocidad de giro del turbo.....	43
4.5    Medidas de presión.....	44
4.5.1    Sensores de presión media. ....	44

4.5.2	Sensores de presión instantánea. ....	45
4.6	Medida de consumo de combustible.....	48
4.7	Medida del flujo de aire. ....	49
4.8	Medida del par y de la velocidad de giro del motor. ....	50
4.9	Sistema de medida y control de parámetros del motor durante los ensayos. ....	52
4.9.1	Lectura de sensores y control de sistemas de sala. ....	52
4.9.2	Lectura y control de parámetros del motor. ....	58
Capítulo 5: Ensayos experimentales y análisis de resultados .....		63
5.1	Introducción. ....	64
5.2	Ensayos preliminares.....	64
5.2.1	Arrastres.....	64
5.2.2	Rodaje.....	65
5.3	Ensayos estacionarios. ....	66
5.3.1	Metodología de ensayo.....	66
5.3.2	Límites de funcionamiento del motor.....	68
5.3.3	Análisis de resultados.....	71
5.4	Ensayos dinámicos. ....	79
5.4.1	Metodología de ensayo.....	80
5.4.2	Análisis de resultados.....	84
Capítulo 6: Conclusiones. ....		91

## Capítulo 1: Introducción.



## 1.1 Introducción.

El Motor de Combustión Interna (MCI) supuso uno de los mayores avances en la historia de la humanidad, sobre todo en los siglos XIX y XX donde, acompañado fielmente del auge en la comercialización del petróleo, se popularizó masivamente. A día de hoy, el Motor de Combustión Interna Alternativo (MCIA), supone una de las principales opciones en cuanto a transporte terrestre o marítimo, tanto de personas como de mercancías. Sin embargo, durante los últimos años, está en auge una corriente social que rechaza este tipo de maquinaria por razones como la dependencia del petróleo, o los diversos tipos de contaminación, sobre todo en los núcleos de población, que recientes estudios achacan a estos motores.

A pesar del descontento social, el uso de los Motores de Encendido Provocado (MEP) no se ha visto afectado negativamente, incluso llegando a ganar terreno a las demás opciones como el Motor de Encendido por Compresión (MEC) o el Motor Eléctrico (ME) por prohibiciones locales por la emisión de partículas del Motor de Encendido por Compresión o por falta de instalaciones necesarias para los Motores Eléctricos como puntos de carga de baterías.

El futuro cercano de los motores MEP está completamente condicionado por el movimiento social de rechazo presente actualmente y la actuación de los gobiernos sobre el tema en cuestión, sin embargo, es adecuado decir que se sigue desarrollando este motor siempre en la línea de respeto al medio ambiente y con el objetivo de obtener las máximas prestaciones.

## 1.2 Objetivos.

Los objetivos del proyecto se pueden resumir en dos puntos principales.

- I. Realizar la instalación y puesta en marcha de un motor de encendido provocado en un banco de ensayos dinámicos.
- II. Estudiar el comportamiento del motor con dos turbogrupos de sobrealimentación diferentes.

## 1.3 Antecedentes.

El estudio del cual trata este Trabajo de Fin de Grado es parte de un gran proyecto fruto de la colaboración activa entre Renault Group S.A. y el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). El departamento cuenta actualmente con tres edificaciones dentro de los límites del Campus de Vera de la UPV, situada en la Avenida de Los Naranjos. La parte del proyecto que contiene este Trabajo de Fin de Grado se desarrolla en el edificio 6D.

El Departamento de Máquinas y Motores Térmicos es un centro de investigación donde se realizan gran cantidad de tipos de estudios, que llegan a abarcar los campos de estudio del mantenimiento de máquinas, control de ruido, inyección, combustión, gestión térmica, cálculo científico (CFD) y gestión del aire.

### **Estudio del mantenimiento de máquinas.**

Dicho estudio se centra en la creación de planes de mantenimiento globales para grandes flotas de métodos de transporte que cuenten con motores de combustión interna como pueden ser autobuses o trenes. Estos planes de mantenimiento se basan en el análisis de combustibles y lubricantes, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías para la flota, organización y optimización, diagnosis basada en el análisis de aceite, etc.

### **Control de ruido.**

En este ámbito estudian temas como la creación de sonido por el flujo de aire, el sistema de sobrealimentación, sistemas de atenuación de ruido o caracterización de las fuentes de ruido en un motor térmico, así como el ruido provocado por la combustión, el análisis del mismo para el diagnóstico del motor y posibles modificaciones para atenuarlo como otros combustibles o conceptos emergentes.

Se utilizan herramientas como modelos numéricos CFD, o modelos de predicción de sonidos en el dominio del tiempo y modelos experimentales. Posteriormente se analizan los datos para la obtención de resultados.

### **Combustión.**

Se investigan contaminantes, consumo de combustible y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> enfocados a procesos de combustión convencionales, modelos avanzados de inyección, nuevas composiciones de combustibles y análisis de emisiones contaminantes.

### **Gestión térmica.**

Se investigan los flujos de transferencia de temperatura del motor, sistemas de refrigeración, arranque en frío, sistemas de recuperación de calor en el escape, etc. Se utilizan herramientas numéricas como modelos de transferencia de calor, simulaciones Termo-hidráulicas o modelos CFD, y herramientas experimentales utilizando cámaras climáticas.

Posteriormente, analizando resultados, se crean modelos informáticos de flujos de temperatura en diversos componentes o sistemas completos del motor.

### **Cálculo científico (CFD).**

“Computational Fluid Dynamics” (CFD) consiste en modelos en tres dimensiones de los flujos producidos por los perfiles o formas de cualquier elemento del motor.

Se investigan temas como los flujos de aire que se producen en un turbocargador, aerodinámica de diversos elementos, flujos de combustible durante la inyección o transmisión de calor por flujos de combustible, aire o refrigerante, utilizando software propio o abierto.

### **Gestión del aire.**

Esta línea de investigación es la más antigua del departamento. Este campo abarca el estudio del proceso de renovación de la carga del motor, desde el sistema de admisión hasta el sistema de escape y todo lo que influya en el recorrido que hace el aire por el motor.

Se investiga la optimización del flujo de aire en motores de dos y cuatro tiempos, tanto MEP como MEC. También diversos sistemas de sobrealimentación, post-tratamiento y emisiones, sistemas de control del flujo de aire, etc.

## 1.4 Viabilidad.

El contenido de este Trabajo de Fin de Grado es una parte de un gran proyecto de investigación que se está realizando en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad Politécnica de Valencia en colaboración con la empresa Renault Groupe S.A.

Por ambas partes del proyecto y con el objetivo de asegurar la viabilidad de un proyecto de tal magnitud, se han asegurado la cumplimentación de los siguientes requisitos:

- Una base económica necesaria.
- Una tecnología a la altura de los estudios a realizar.
- Unos medios humanos con la formación necesaria.

La viabilidad económica se garantiza mediante los medios de financiación con los que cuenta el Departamento, como son precisamente los convenios de investigación firmados con grandes empresas del sector automovilístico.

La viabilidad tecnológica está asegurada por las instalaciones del Departamento, que cuentan con los sistemas de medición y control necesarios para la realización de los ensayos pertinentes en el desarrollo del estudio.

La viabilidad respecto a los medios humanos está avalada por la colaboración y experiencia del profesorado, técnicos, investigadores y demás personal con capacidades con los que cuenta el Instituto CMT Motores Térmicos.



## 1.5 Desarrollo del proyecto.

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se puede resumir en las tareas siguientes:

- I. Montaje del motor, de los diversos sistemas que lo componen y estudio y diseño de piezas según necesidad para realizar el acople motor-transmisión con los sistemas activos del banco de ensayo.
- II. Conexión y calibración de los sistemas de medida y control disponibles en la sala, realizando las comprobaciones necesarias antes de realizar la puesta en marcha.
- III. Realización de los ensayos experimentales.
- IV. Realización del documento que describe y justifica, técnica y económicamente, las soluciones adoptadas, así como las conclusiones a las que han llevado los estudios realizados.

## 1.6 Composición del trabajo.

El trabajo está compuesto por diversos documentos independientes que, unidos, engloban todos los aspectos técnicos y económicos que se han tenido en cuenta durante la realización del proyecto asociado. Los documentos son los siguientes:

- Memoria descriptiva.
- Presupuesto.
- Planos.
- Anexos.

### **Memoria**

En la memoria se detallan, tanto el objeto del proyecto y los antecedentes al mismo, como el desarrollo y las fases según la evolución de los estudios. Además de, por último, exponer los resultados de los ensayos realizados.

Consta de varios capítulos los cuales se describen brevemente a continuación.

- En el **primer capítulo**, se realiza una introducción general al trabajo, relatando el objeto de este, los antecedentes... Es decir, se relata el porqué de su realización, y se comenta de manera reducida el desarrollo que va a seguir. Además, se explica dónde está ubicado, se analiza la viabilidad de este y, todo esto, se sintetiza en una justificación del trabajo.
- El **segundo capítulo** consta de una descripción del motor y sus principales características, así como una explicación teórica de los diferentes sistemas de sobrealimentación que se estudiarán y sus especificaciones.
- El **tercer capítulo** relata los pasos seguidos tanto en momentos previos y durante el montaje del motor en la sala, así como el acoplamiento del freno y el motor, justificando cada una de las piezas diseñadas en esta fase.
- El **cuarto capítulo** describe la instrumentación necesaria para los estudios a realizar sobre el motor. Presentada según los tipos de medida que se obtengan de cada uno de los sensores.
- El **quinto capítulo** describe el estudio experimental de los diferentes turbogrupos de sobrealimentación y plantea los resultados.

### **Presupuesto**

En el presupuesto se detallan los costes de la mano de obra, de los equipos, del material y del material fungible y se determina el coste total.

### **Anexos**

Se ha recogido en los anexos un conjunto de información relevante en la ejecución del trabajo que no se contempla en los documentos previos. Esta información adjunta está compuesta por planos,

## 1.7 Justificación.

Este trabajo se ha realizado como parte de un proyecto mayor, fruto del convenio firmado entre el DEPARTAMENTO DE MÁQUINAS Y MOTORES TÉRMICOS y la empresa RENAULT GROUPE S.A. con la finalidad de realizar el acoplamiento y regulación de un sistema de sobrealimentación en un motor de encendido provocado de inyección directa y realizar un estudio de prestaciones de este.



## Capítulo 2: Descripción general del motor



## 2.1 Introducción.

El motor objeto de este estudio, es un motor de encendido provocado que, como característica más relevante, incluye un sistema de sobrealimentación. Es un motor de pequeña cilindrada que consigue alcanzar una alta potencia específica. Esta tendencia dentro de la industria automovilística es conocida como “Downsizing”.

Partiendo de la necesidad de reducir las emisiones según dicta la norma EURO y las necesidades ambientales, y evitando a toda costa reducciones de potencia y aumentos en consumo de combustible, la industria ha visto una solución a esta problemática combinando tecnologías propias de motores de encendido por compresión. Y así, empezando por el sistema de sobrealimentación, y llegando incluso a la modificación de la arquitectura interior del propio motor, se han logrado los objetivos marcados anteriormente.

Todo esto ha servido de precedente para el presente proyecto, donde se analizarán diversos sistemas de sobrealimentación en un motor de encendido provocado, siguiendo la filosofía del “Downsizing”, y se buscará el rendimiento óptimo de la máquina con cada uno de ellos, obteniendo así resultados de gran interés para configurar los futuros motores de esta compañía.

## 2.2 Motor de encendido provocado.

### 2.2.1 Introducción.

El motor objeto de este proyecto es un motor de encendido provocado sobrealimentado de la empresa Renault.

Renault es una compañía francesa de fabricación de automóviles que pertenece a un grupo empresarial con su mismo nombre, donde, además, se encuentran otras compañías como Dacia o Alpine.

Renault fue fundada por Louis Renault en 1898 en parte por sus dos grandes pasiones, las fábricas, que en aquel entonces comenzaban a proliferar, y la innovación tecnológica. Comenzaron produciendo taxis, utilizando las bases de la producción en serie y, más tarde con la guerra, centraron la producción en camiones, camillas, ambulancias, etc. Como muchas otras empresas de la época. Continuaron su expansión en las siguientes décadas enfocando sus ventas hacia el extranjero y, con una gran planificación, lograron crecer en gran medida, lo que les permitió centrarse en el ámbito de la competición y entrar en la Fórmula 1 en 1977, con el primer motor de encendido

provocado con sistema de sobrealimentación de la historia de la competición. El motor se llamaba Renault RS01 y se trataba de una pequeña máquina de 1'5 litros que perfectamente podría considerarse un antecesor de los motores actuales pertenecientes al “Downsizing”.

En el año 1999, tras un intento de fusión Renault – Volvo que acabó por no consolidarse, se genera exitosamente la alianza Renault – Nissan, lo que provoca una nueva corriente de desarrollo mutuo. Así nace la familia de motores denominada HR que consiste en una serie de pequeños motores gasolina de 3 o 4 cilindros, que van desde 1.0 L a 1.6 L de volumen. Dentro de esta familia también se pueden diferenciar los motores atendiendo al tipo de admisión.

## 2.2.2 Características principales del motor.

Como he mencionado anteriormente, se trata de un motor de 4 tiempos de encendido provocado equipado con un sistema de sobrealimentación denominado **HR13**. Se podría decir que es el sucesor del motor HR12DDT, ambos fruto de la alianza Renault – Nissan.

Se trata de un motor perteneciente a la familia con denominación comercial **TCE** con una cilindrada exacta de 1,33 L. Es un motor con 4 cilindros y un sistema de inyección de gasolina capaz de alcanzar los 250 bar, y que, sumado al diseño de la cámara de combustión, optimiza la mezcla de aire-combustible, reduciendo así el posible “Knocking” que se pudiera producir.

Además, cuenta con una tecnología desarrollada por Nissan para su modelo GT-R, llamada “Mirror Bore Coating” para reducir las pérdidas mecánicas que se producen por el rozamiento de los pistones con el cilindro. Habitualmente se utilizan materiales compuestos en gran parte por aluminio en la composición del bloque motor, en busca de una reducción del peso del conjunto, sin embargo, esto trae otros problemas ya que, por ejemplo, el aluminio no es capaz de soportar la constante fricción de los pistones en su recorrido por los cilindros a altas temperaturas cuando el motor está en funcionamiento. Por eso es común introducir una camisa de acero de unos 2 milímetros en la parte interior del cilindro, protegiendo así el aluminio del bloque, pero provocando un mayor rozamiento.





Figura 2.1: Bloque motor y camisa del cilindro.

Nissan desarrolló la tecnología necesaria para aplicar una capa de hierro fundido utilizando un aerosol, con lo que consiguieron usar una superficie de solo 0,2 milímetros de capa de hierro, lo que redujo sustancialmente las pérdidas mecánicas, además de la reducción de los costes por el menor consumo de material y consiguiendo reducir peso del bloque de cilindros.

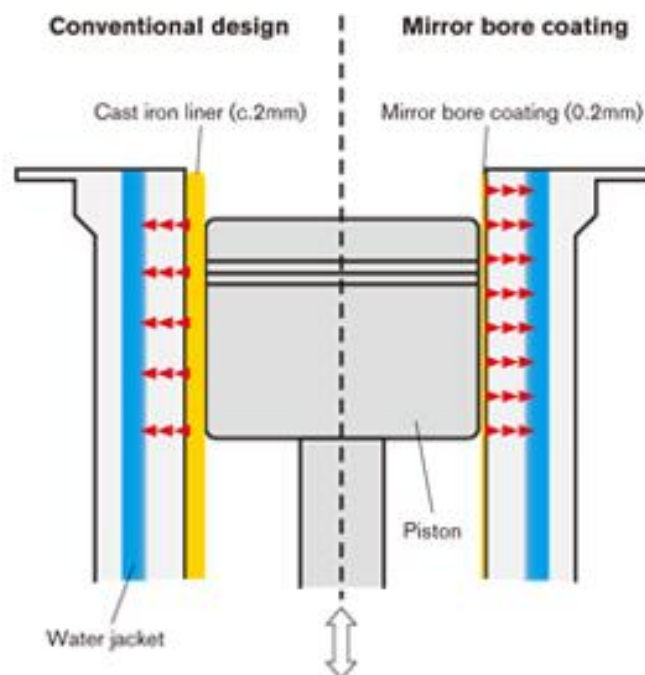


Figura 2.2: Cilindro con y sin “Mirror bore coating”.

Como hemos visto, el motor está pensado para resultar una completa innovación en el mercado, adaptando tecnologías propias del ámbito de competición y de las gamas más altas, al resto de modelos. De ahí que en este prototipo se vayan a probar otro tipo de tecnologías en el ámbito de la sobrealimentación.

Los parámetros principales del motor son los siguientes:

<u>Renault</u>	<u>HR13</u>	<u>Unidades</u>
Diámetro del cilindro	72,2	mm
Carrera	81,2	mm
Radio del cigüeñal	40,6	mm
Longitud de biela	128	mm
Número de cilindros	4	-
Relación de compresión	10,6	-
Descentrado de la unión biela-pistón	-0,5	mm

Figura 2.3: Cuadro de datos del motor.

## 2.3 Sistema de sobrealimentación.

### 2.3.1 Introducción.

El motor objeto del proyecto, está equipado con un sistema de sobrealimentación con tecnología “Wastegate”. Este sistema y los otros que se estudiarán durante el trabajo son de la empresa Honeywell.

### 2.3.2 Turbogrupos con tecnología “Wastegate”.

Los sistemas de sobrealimentación basados en la tecnología “Wastegate” son los más comunes en cuanto a vehículos utilitarios se refiere, principalmente por su bajo coste dentro del sector, su reducido tamaño, y sus aceptables características en funcionamiento.

Se basan en una válvula llamada “Wastegate”, que actúa de bypass de gases a medida que van saliendo por el colector de escape de manera que, en situación normal todos los gases están siendo aprovechados en la turbina para transmitir su energía al compresor y, en el momento que se alcanza la relación de compresión deseada, o se genera una sobrepresión en el escape, la válvula se abre dejando pasar parte de los

gases. Así, se realiza un control del sistema, pudiendo crear las condiciones deseadas en función del grado de carga demandado al motor.

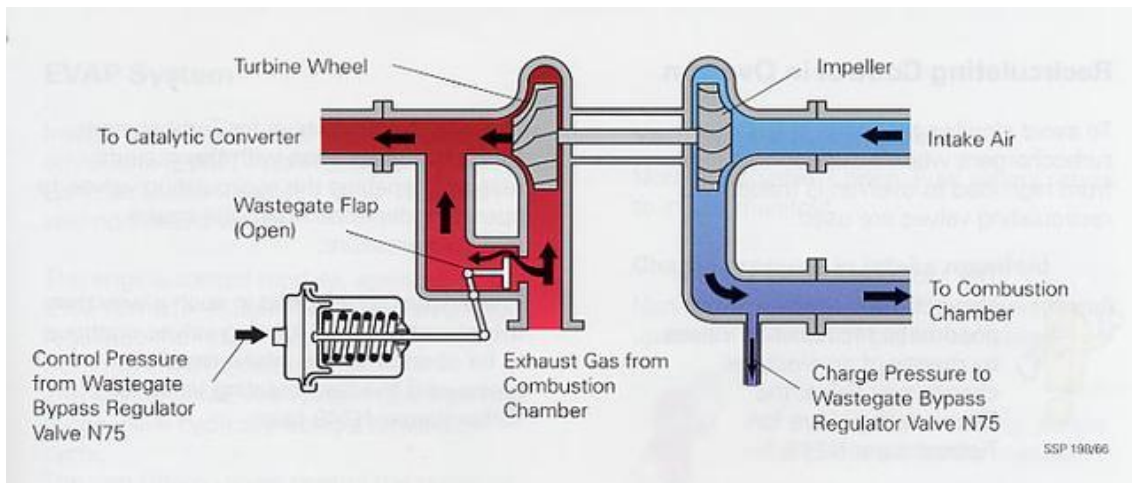


Figura 2.4: “Esquema del sistema ‘Wastegate’”

Respecto a sus características principales, lo más importante es que, al estar destinados a su equipamiento en un motor de encendido provocado, deben ser capaces de soportar las altas temperaturas que se generan en el escape, por ello, el rodete de la turbina está fabricado con aleaciones de diversos materiales y composites que llegan a resistir hasta 1050°C sin necesidad de un sistema de refrigeración por líquido.

Además, los turbos de Honeywell cuentan con una optimización aerodinámica que mejora el rendimiento de estos sistemas. En la turbina, cuentan con volutas compactas para reducir el tamaño y mejorar el rendimiento de los flujos de escape del motor, y alabes con capacidad de aprovechamiento de flujos radiales y mixtos tanto en alta como en baja carga. Todo eso, junto con el desarrollo del compresor, hacen que el sistema sea capaz de satisfacer las demandas del motor en todo momento.

Sin embargo, este tipo de turbos también traen consigo unos cuantos problemas. El diseño de este tipo de sistemas, por el que son capaces de dar altos ratios de compresión incluso en situaciones de baja carga, genera altas presiones en el colector de escape cuando el motor se sitúa en plena carga. Estas altas presiones pueden llegar a entorpecer el flujo de aire que sale de los cilindros hacia el escape, provocando acumulaciones de gases en las cámaras de combustión que pueden desembocar en la aparición de picado. En busca de reducir este fenómeno, el motor tiende a retrasar el punto de encendido, lo que provoca un aumento de temperatura en el escape y crea la necesidad de enriquecer la mezcla aire-combustible, aumentando así el consumo de este último.

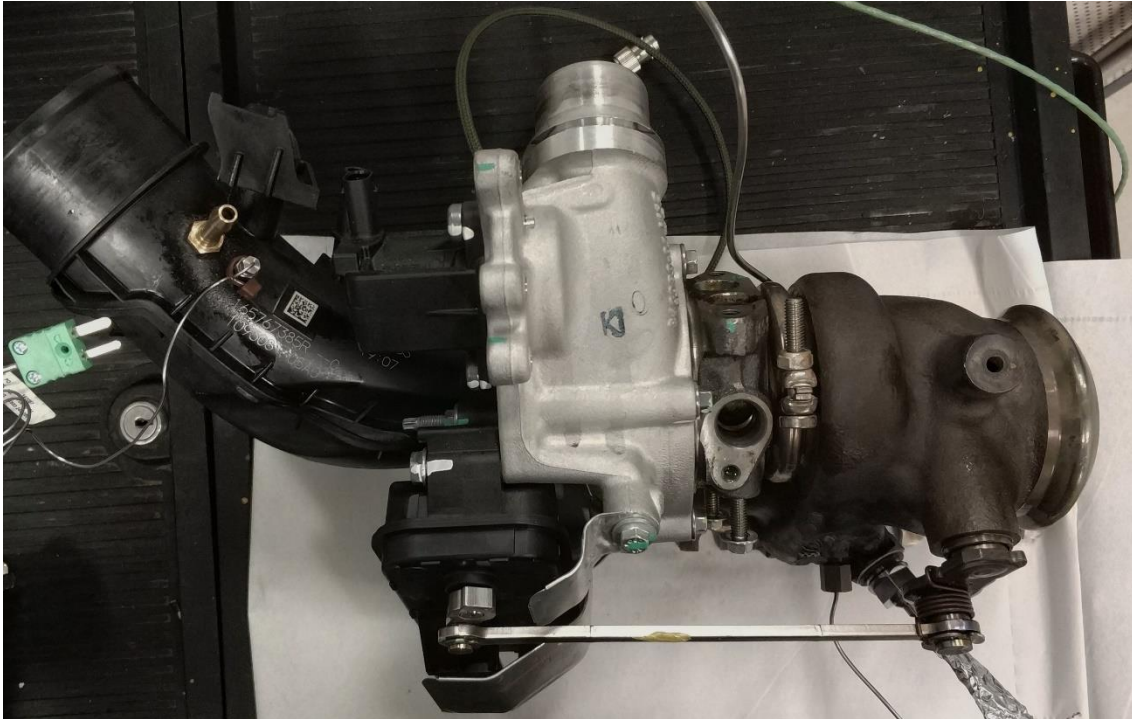


Figura 2.5. Sistema de sobrealimentación con wastegate.

### 2.3.3 Turbogrupos con tecnología “VNT”.

Los conflictos existentes entre tener un buen par en los altos y bajos límites de curva de potencia y tener un consumo específico de combustible aceptable en potencia nominal, se solucionan adaptando los sistemas de sobrealimentación con turbina de geometría variable utilizados anteriormente en motores diesel, a las altas temperaturas que se alcanzan en el escape de los motores de encendido provocado.

En estos sistemas, los álabes de la turbina varían el gradiente de entrada del aire al rotor de la misma, por lo que, al variar el ángulo de incidencia del flujo de gases de escape en el rotor, varían el aprovechamiento de energía que se realiza de ellos. Esto, además, facilita enormemente la tarea de acoplar el sistema de sobrealimentación al motor en sí, ya que se obtiene más flexibilidad en el mapa de compresión del turbo.

Cuando el motor se encuentra girando a bajas revoluciones por minuto y baja carga, el sistema cierra los álabes restringiendo el paso de los gases de escape hacia la turbina, con lo que se aumenta el trabajo en la turbina y la presión de sobrealimentación. En cambio, cuando el motor se encuentra girando a altas revoluciones por minuto y alta carga, el sistema gira los álabes aumentando así el espacio disponible y, por tanto, el caudal de gases de escape que circulan por la turbina. De esta forma se evita que el turbo sobrepase límites de velocidad no deseados,

manteniendo en todo momento la presión de sobrealimentación requerida por el motor.



Figura 2.6: Turbo con tecnología TGV

Desde su comercialización en 2004, estos sistemas de sobrealimentación han evolucionado de manera que ahora, gracias a los avances en los materiales que componen sus partes, son capaces de resistir mayores temperaturas, lo que les ha abierto el abanico de los nuevos motores de encendido provocado sobrealimentados, que llegaban con la corriente del downsizing. Anteriormente, estos sistemas estaban reservados tan solo para motores de encendido por compresión, pero ahora, son capaces de aguantar hasta 1000°C en el colector de escape, ya que estos han evolucionado hasta incorporar a día de hoy, tanto sistemas de lubricación más avanzados que los corrientes, como nuevos sistemas de refrigeración por agua del propio motor, como veremos posteriormente.



## Capítulo 3: Instalación del motor y el sistema de sobrealimentación





## 3.1 Introducción.

La primera fase del proyecto fue el montaje del motor y todos sus sistemas auxiliares en el banco de ensayos y el acoplamiento de este con el dinamómetro. Esto último es de gran importancia porque del correcto acoplamiento entre máquinas dependen todos los resultados experimentales

Como veremos a continuación, en este capítulo se detalla tanto la organización del montaje en fases, como la distribución de los diversos componentes tanto de motor como de medida en el espacio disponible de la sala y la bancada, así como la fabricación y el diseño de piezas necesarias en todo el proceso.

## 3.2 Preparación de la bancada.

La bancada es la base donde se anclan tanto el motor como todos los sistemas auxiliares que necesiten estar alrededor del mismo. Es una plataforma formada por perfiles IPE-120 colocados de forma que cuenta con un ranurado donde se pueden fijar todo tipo de anclajes. Además, con el objetivo de eliminar todo tipo de vibraciones que pudieran transmitirse al edificio, esta cuenta con muelles fijados a una pletina de 3 cm de espesor que actúa de base, por lo que, en caso de oscilaciones, todo el conjunto de freno-motor y los sistemas auxiliares se desplazan en bloque, previniendo así posibles esfuerzos a flexión o torsión en la transmisión o en otras estructuras.

La bancada mide en total 250x100 cm aunque gran parte de esta área está ocupada por el freno, que también se encuentra fijado a la misma, por lo que el espacio disponible para la ubicación del motor y de otros sistemas es de 130x100 cm.

Para el anclaje del motor a la bancada se debe realizar un montaje que nos permita obtener movimiento en 3 grados de libertad, de cara al equilibrado del motor y a una conexión freno-motor lo más perfecta posible.

- Regulación vertical: Para la regulación de la altura en el montaje del motor contamos con el tornillo de potencia de las torretas. Se utilizan 4 torretas en total para la sujeción total del motor, por lo que se dispone de libertad para variaciones de altura en 4 puntos. Esto permite aplicar en el motor cierto grado de giro en función al tornillo de potencia que incluyen cada una de las torretas. En el presente caso el motor requería de más altura en el lado correspondiente al sistema de admisión, que según la configuración de este en el banco de ensayos corresponde a la

parte derecha, para que la zona del cárter de aceite quedara completamente horizontal al suelo.

- Regulación longitudinal: Para la regulación longitudinal se utilizó el ranurado presente en la bancada. Esto permite modificar la colocación de las torretas, ya que para su anclaje se utilizan tornillos de métrica 14 y pletina de 1 cm, y se pueden colocar en cualquier punto del espaciado.
- Regulación transversal: Para la regulación transversal se utilizó un pequeño ranurado en la base de las torretas de forma que, en el anclaje de cada una de ellas, existía la posibilidad de ganar hasta 5 cm en todas direcciones.

### 3.3 Preparación del motor.

En primer lugar, se estudió con detalle la posición final en la cual, los sistemas tanto de escape como de admisión del propio motor quedarían una vez terminado su montaje, con el objetivo de poder localizar problemas de logística con los demás elementos del banco de ensayos e idear una solución antes de empezar con el montaje del motor.

Después, aún con el motor fuera de la sala, se plantearon los sistemas de admisión y escape siguiendo los esquemas que Renault había enviado. Esto se realiza por dos motivos principales, ya que hay que comprobar en qué posición se quedan elementos como el radiador de cara prever alguna posible modificación en caso de falta de espacio y, lo más importante, hay que estudiar la accesibilidad para la instrumentación del motor que veremos en el capítulo siguiente.

Para la sujeción del motor en el banco de ensayos, se utilizaron tornillos de banco denominados torretas. Debemos colocar el motor sobre las torretas teniendo en cuenta que, en la parte delantera de este, la cual consideramos que es donde se encuentra la correa de distribución, solo hay un apoyo, a diferencia de la parte trasera donde hay dos.

En la parte delantera del motor, se utilizó un sistema triangular hecho con perfil de acero utilizado en un montaje de un motor anterior, donde se colocan dos torretas en los extremos de la arista inferior. Esta arista cuenta con un ranurado permitiendo así el desplazamiento transversal de la posición de las torretas en caso de problemas de equilibrio. En el pico superior se encuentra una pletina, la cual genera un plano donde se puede anclar el silentblock delantero como se puede apreciar en la figura X. De esta

forma, se consiguió repartir el peso que se transmite de un solo apoyo a ambas torretas, obteniendo así una mayor estabilidad.

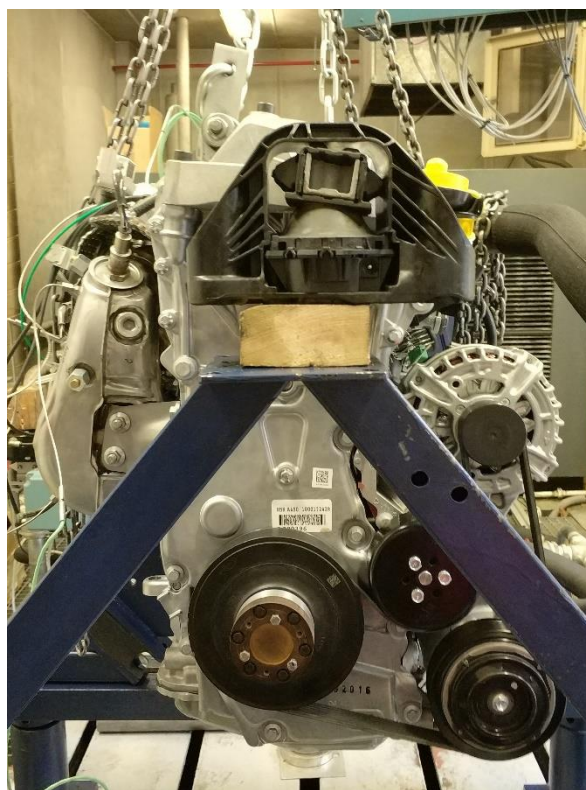


Figura 3.1. Apoyo delantero del motor.

En segundo lugar, se utilizó una plancha diseñada a medida para coincidir con el sistema de anclaje donde originalmente iría la caja de cambios del motor (Plano 2), zona que resulta la parte trasera del motor. A esta plancha, hecha con pletina de acero de 3 mm, se le realizaron agujeros con los que poder realizar la sujeción de los silentblocks pertenecientes a las torretas traseras. Esta parte del montaje es una de las más complejas ya que fija el movimiento del bloque motor y, si se diera el caso en el que se soltara por alguna razón, la unión freno-motor en la transmisión que veremos posteriormente pasaría a aguantar el peso total del conjunto, lo que resultaría fatal.

Durante la colocación del motor, algo muy importante a tener en cuenta es la situación de la transmisión. De cara a que el acople entre la transmisión del freno y la del motor encaje, es necesario diseñar una pieza que, por un lado, coincida con el perfil de los anclajes de la transmisión y, por el otro reproduzca las sujeciones del plato del embrague. (Plano 1)

Una vez se obtuvo con dicha pieza, se procede con cuidado a desplazar y equilibrar el motor utilizando las torretas, hasta que se produzca una conexión lo más limpia posible. Para comprobar si la conexión es correcta se puede, por ejemplo, intentar poner cada uno de los tornillos que unen la pieza hecha a medida, que

previamente se ha colocado en el motor, y la transmisión. Si estos entran y giran sin problemas, se puede proceder a apretarlos. Siempre teniendo en cuenta posibles desplazamientos o giros producidos durante el apriete, y subsanándolos.

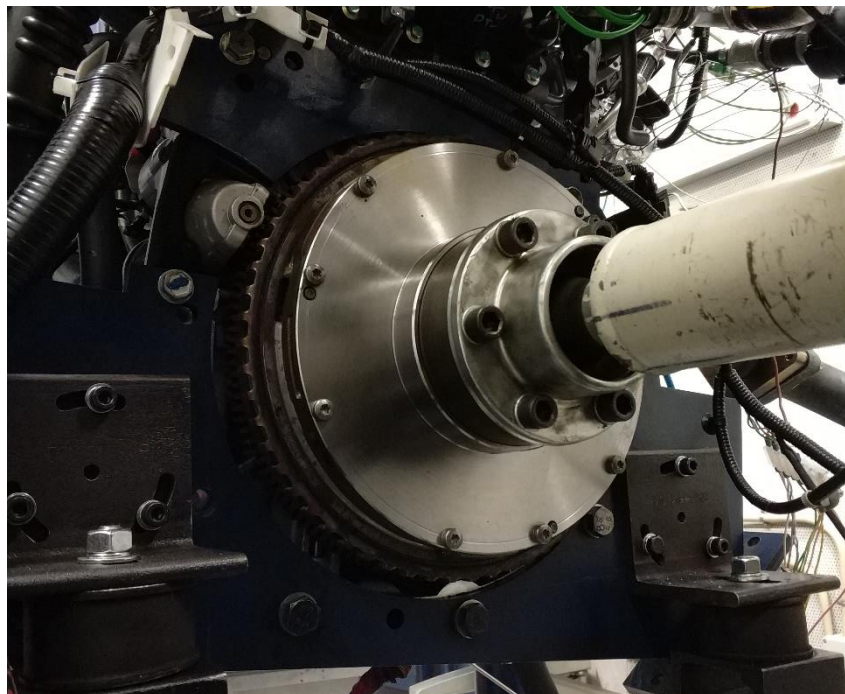


Figura 3.2. Conexión freno-motor.

Posteriormente se realizó la instalación de los siguientes sistemas:

- Sistema eléctrico: Se realizó la instalación del cableado del motor y las conexiones de todos sus sensores. Además, se estudió un sistema de anclaje para la ECU, dado que quedaba situada cerca de la correa de distribución y es importante que no pueda recibir ningún impacto en caso de avería grave.
- Sistema de admisión: Este sistema está dividido en dos partes. En primer lugar, hay que tener en cuenta la caja del filtro de aire, que se sitúa antes de la entrada del compresor y después del caudalímetro, cuya instalación veremos más adelante.

Dado que el tubo que conecta la salida del filtro de aire con la entrada del compresor es parte de los componentes que proporcionó el fabricante, se creó la necesidad de montar la caja del filtro en una posición fija, y adaptar la conexión de esta con el caudalímetro. Para

ello, se recurrió al montaje de un pórtico utilizando perfiles *Fasten* de 45X45 mm, al que se unió la caja del filtro.

En segundo lugar, se encuentra la parte del sistema de admisión que comprende desde la salida del compresor, hasta el intercambiador de calor que enfría el aire después de su compresión. Dado a que durante los ensayos no existe un flujo de aire capaz de conseguir que el radiador cumpla su función, se decidió hacer un pequeño estudio para determinar la potencia frigorífica necesaria para cumplir los límites de temperatura de admisión de aire marcados por el proveedor.

RAS VALEO N°291 80mm RATIO BUNDLE = 11.7%		1250	1500	1750	2000	2250	2500
PRESSURE WITHIN THE INTAKE MANIFOLD [mbar]	300	25	25	25	25	25	25
	400	25	25	25	25	25	25
	500	25	25	25	25	25	25
	600	25	25	25	25	25	25
	700	25	25	25	25	25	25
	800	25	25	25	25	25	25
	900	25	25	25	25	25	25
	1000	25	25	25	25	25	25
	1100	26	26	26	26	26	26
	1200	26	26	26	26	26	26
	1300	27	27	27	27	27	27
	1400	28	28	28	28	27	27
	1500	29	29	29	29	28	28
	1600		30	30	30	29	28
	1700		32	31	31	30	29
	1800		33	33	33	31	30
	1900			34	34	32	31
	2000			36	36	33	32
	2100			38	38	35	34
	2200			40			
	2300						
	2400						
	2500						

Figura 3.3. Extracto del mapa de temperaturas de admisión.

Para determinar la potencia frigorífica necesaria, se realizó un pequeño test en el cual se situó al motor en un punto de media-alta carga. Una vez estabilizado, se calculó la potencia frigorífica necesaria en ese punto para cumplir con los límites impuestos de la siguiente manera; conociendo que el límite de temperatura de aire de admisión es de 40°C, que la temperatura de entrada del aire en el intercambiador de calor es de alrededor de 106°C y que existía un gasto másico de aire de 400 Kg/h en el punto, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Potencia\ Térmica = C_p \times m_a \times (T_e - T_s)$$

Siendo:

- $C_p$ : Calor específico del aire seco en kJ/kg x K.
- $m_a$ : Gasto másico de aire del motor en el punto en kg/s.
- $T_e$ : Temperatura del aire antes del intercambiador de calor en K.
- $T_s$ : Temperatura del aire tras pasar por el radiador en K.
- *Potencia*: Potencia a evacuar en kW.

Así se obtuvo que, para estar en el límite de temperatura, como mínimo, se necesitaría un radiador capaz de evacuar 7,42 kW.

Por ello se seleccionó un intercambiador de calor Agua-Aire a contracorriente capaz de cumplir con demandas de potencia se refrigeración de hasta 10 kW, en función del caudal de agua disponible. Como comprobante de la potencia máxima de la que se podía disponer con este intercambiador, se realizó el mismo cálculo utilizando datos obtenidos en un motor anterior, donde este estaba en funcionamiento en condiciones en las cuales existía un gasto másico de aire de 253 kg/h y la temperatura de entrada del aire al intercambiador era de 170°C. En ese punto este era capaz de reducir la temperatura a 56°C según los registros, con lo que se obtuvo una potencia superior a 8 kW y se instaló en el motor.

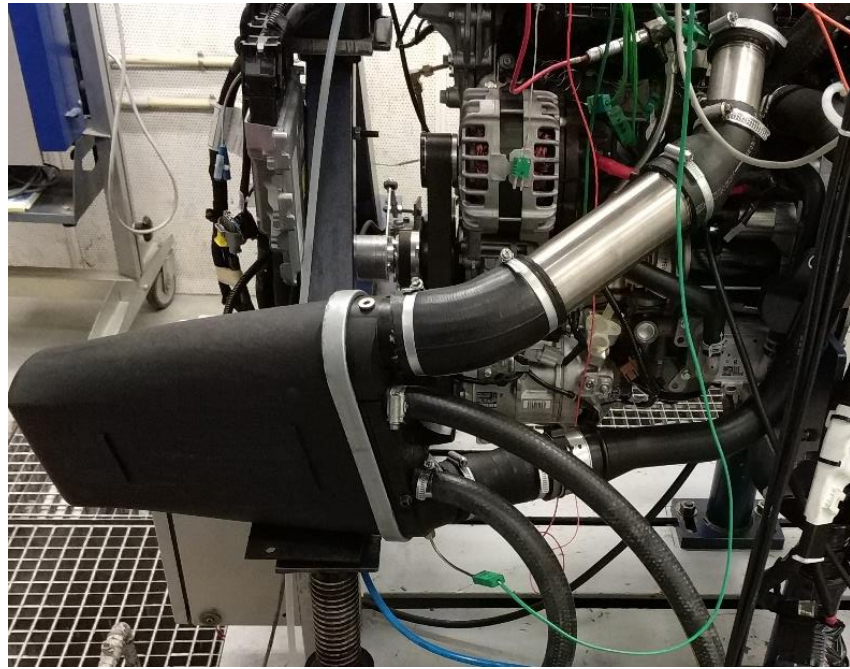


Figura 3.4. Intercambiador de calor Agua-Aire

- Sistema de escape: El montaje del sistema de escape de gases se realizó con la premisa por parte del proveedor de tener que utilizar una serie de elementos del sistema de escape propios del motor objeto de estudio. Esta demanda es común por parte de las empresas automovilísticas para el estudio de motores ya que, si se modifica el escape, puede variar la contrapresión que sufre el aire en su salida del motor, lo que puede afectar en el rendimiento del mismo y los posteriores estudios.

Dado que el escape original no se podía instalar dado su longitud y perfil, ya que este estaba diseñado para su instalación en un automóvil, se creó una nueva línea de escape. Para ello, se utilizaron segmentos del escape original y, mediante unas bridas de acero diseñadas a medida (Plano 3) y unos codos de acero inoxidable de 60°, se adecuó el sistema en el espacio disponible.



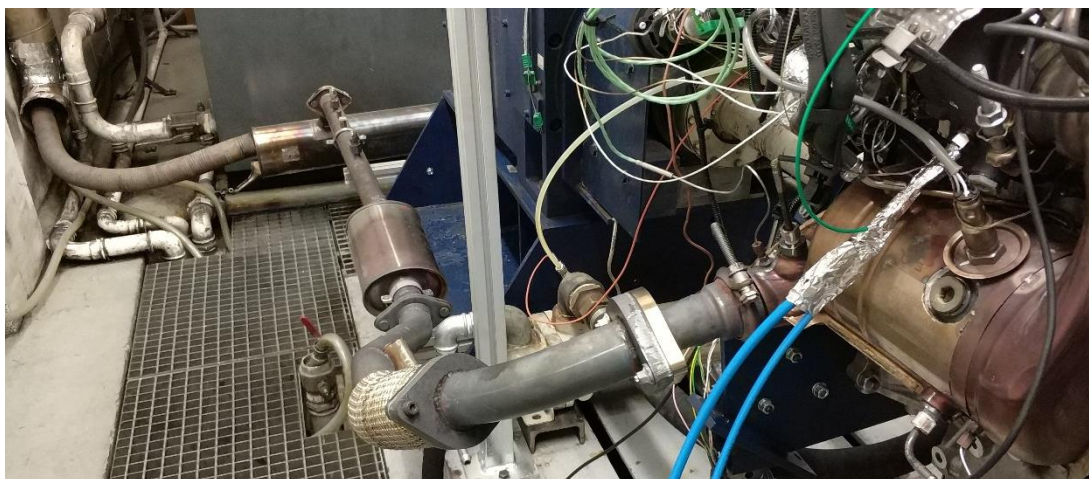


Figura 3.5. Montaje final del sistema de escape.

### 3.4 Acoplamiento del turbo VTG.

Una vez concluidos los ensayos con el sistema de sobrealimentación de origen del motor, el turbo con tecnología Wastegate, el proyecto entraba en la segunda parte de su desarrollo, en la cual se analizaría el impacto de un sistema de sobrealimentación más avanzado, pero con menor tolerancia a las temperaturas, como son los turbos con tecnología VTG. A pesar de que ambos sistemas son del mismo fabricante, Honeywell, y que este estaba avisado de que iban a ser utilizados en el mismo motor, y, por tanto, no debían ser diferentes las tomas de agua y aceite, por cuestiones de diseño del último, existían variaciones que solucionamos como veremos posteriormente.

En primer lugar, realizamos las comprobaciones pertinentes de que la unión del colector de escape, tanto las entradas de gases, como el diseño del colector y la situación de los agujeros para su anclaje coincidieran. Comprobamos que, efectivamente, coincidían, y que disponíamos de las juntas necesarias para su montaje ya que se recomienda que, en el cambio de un sistema tan importante para el motor como es el sistema de sobrealimentación, se repongan cada una de las juntas y abrazaderas de escape que se desmonten, principalmente por la constante exposición a altas temperaturas que han sufrido y sufrirán.



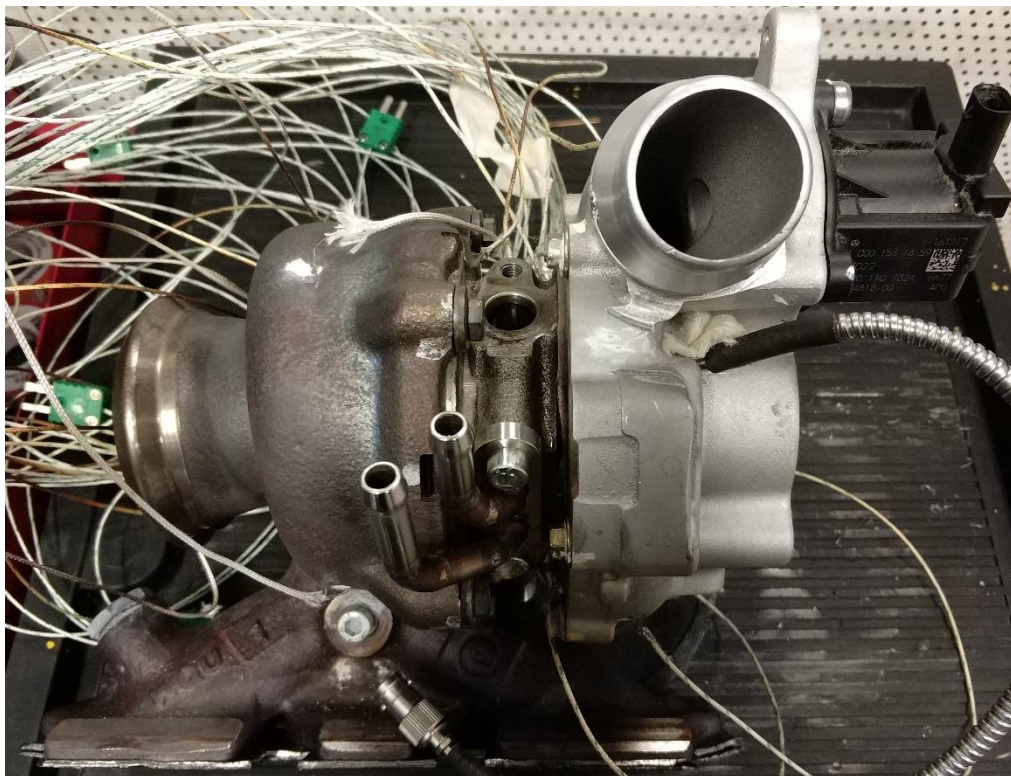


Figura 3.6. Turbo con tecnología “VTG”.

Una vez comprobamos que, efectivamente, el turbo podía ser montado en el motor sin problema procedimos al acoplamiento de los pertinentes sistemas de refrigeración y lubricación por agua y aceite respectivamente.

- Sistema de refrigeración por agua: El sistema de refrigeración del turbo es de vital importancia y especialmente en nuestro motor ya que, al ser gasolina, se alcanzan temperaturas de hasta 950°C en la turbina. Los turbocompresores con tecnología VTG no son capaces de aguantar temperaturas de escape tan altas como los turbos convencionales con wastegate, por ello son muy comunes en los motores de encendido por compresión ya que estos no alcanzan temperaturas tan altas en la turbina, sin embargo, con la corriente de investigación producida por el downsizing, se han mejorado los materiales y añadido nuevos medios de refrigeración, como conductos para refrigeración con agua del motor, en este tipo de sistemas para poder ser aprovechados también en motores como el nuestro. El sistema de refrigeración por agua está compuesto por 2 piezas, un tubo compuesto por partes rígidas y flexibles que conduce el agua desde el bloque motor a la tubería de entrada de agua del conjunto del turbocompresor, y una manguera que, gracias a una pequeña bomba eléctrica situada en uno de sus extremos, ayuda a

extraer el agua del turbo. En cuanto a la salida de agua del sistema de sobrealimentación, tan solo necesitamos un pequeño trozo de manguera, que conectamos a la salida de agua del turbo y a la entrada de la bomba en sus respectivos extremos. Para la entrada de agua tuvimos que realizar una modificación en la unión original, mientras que dejamos intacta la conexión de la tubería con el bloque del motor dado a que esta contaba con una junta tórica que garantizaba estanqueidad, en el otro extremo tuvimos que adaptar parte del tubo y utilizar manguera de – cm de diámetro interior para unirlo con la entrada de agua del sistema.

- Sistema de lubricación: El sistema de sobrealimentación necesita de una buena lubricación debido a las altas revoluciones por minuto a las que puede llegar a girar, para contar con ello, el motor envía aceite al turbo y, después de pasar por este, cae por gravedad de nuevo al cárter. Esto es posible ya que el turbocompresor se encuentra en la parte alta del motor, sin embargo, en caso de que alguno de los conductos de retorno del aceite se obstruyera por un pellizcamiento o un codo demasiado pronunciado, el aceite podría pasar a la zona del compresor, y acabar entrando a la cámara de combustión, pudiendo generar grandes problemas al motor, por lo que es de vital importancia la correcta adecuación de este sistema al nuevo turbo.

Por último, antes de proceder al estudio de dicho sistema de sobrealimentación, debíamos implementar un control para la TGV, ya que hay que recordar que el turbo original no contaba con esta tecnología, por lo que la ECU no está preparada para hacer un uso óptimo de este nuevo sistema. Para ello, en resumen, se utilizó un sistema de medida externo, del cual hablaremos brevemente más tarde, capaz tanto de leer como de enviar señal al motor. Así, conseguimos evitar los comandos del ordenador central del motor, que buscaban controlar la válvula wastegate del antiguo turbocompresor, y controlamos nosotros la actuación del nuevo sistema.

## Capítulo 4: Instrumentación y control.



## 4.1 Introducción.

Este capítulo va a estar dividido en dos partes. En una primera parte se tratará la instrumentación del motor con la que se cuenta a la hora de hacer los ensayos, que estará dividida a su vez según los tipos de medidas que se obtengan de cada sistema, y en la segunda parte se explicará el tratamiento de dichas medidas y, además, los sistemas de control que se utilizan para realizar los ensayos en el motor.

Es importante llevar una organización clara respecto a los sistemas de medida por diversas razones. En primer lugar, es importante tener un orden en el montaje de los sensores y los sistemas de adquisición ya que, por desgracia, es común que los primeros acaben fallando en algún momento del estudio debido a las condiciones adversas en las que llegan a trabajar. Por lo que se debe conocer al completo la instalación de cara a poder localizar y corregir en caso de que fuera necesario alguno de los equipos. En segundo lugar, es importante organizar tanto las frecuencias de adquisición, de cara a que los resultados de los estudios puedan ser analizados al detalle, como el muestreo de datos en pantalla, así, se consigue un display más agradable, además de aumentar la capacidad de detección de algún mal funcionamiento o error con solo un pequeño vistazo a las medidas en el mismo momento.

Todos los datos obtenidos de la instrumentación presente en el motor y/o añadida para estudios específicos se muestra y se guarda en unidades del sistema internacional, facilitando así el posterior procesamiento de estos para su futuro análisis.

## 4.2 Medidas de temperatura.

Las medidas de temperatura son de vital importancia, ya que son una fuente fiable de información respecto a cómo está transcurriendo el ensayo. Además, son variables necesarias para el procesamiento de datos y los estudios que se verán posteriormente.

Estos datos se recogen con sensores de dos tipos:

- Termorresistencias: Las termorresistencias son un tipo de sensor cuyo funcionamiento se basa en la variación de la resistencia al paso de la corriente eléctrica que se produce a raíz de la variación de temperatura. Estos sensores están formados por un alambre fino, que puede ser de platino, níquel, níquel-hierro, cobre o tungsteno, que es sujetado por material aislante y encapsulado. Esta cápsula se inserta posteriormente en un tubo

metálico cerrado en un extremo que se rellena con polvo aislante y se sella con cemento para impedir la posible absorción de humedad.

Dada la estanqueidad de este tipo de sensores y su gran precisión, sobre todo si el filamento es de platino ya que con este se miden variaciones de temperatura de entre  $-260^{\circ}\text{C}$  y  $630^{\circ}\text{C}$  con una precisión de  $0.01^{\circ}\text{C}$ , se utilizan para mediciones de temperatura en ambientes húmedos o líquidos, como puede ser por ejemplo el cárter de un motor de combustión interna donde se almacena el aceite lubricante.

A continuación, se puede observar en la figura 4.1 el detalle completo de todas las termorresistencias en uso durante el proyecto, tanto nombre de la variable que entregan, como zona de medición.

<b>Termorresistencias</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>MEDIDA</b>
<b>Refrigeración</b>	T_COOLANT_IN_MOT	Temperatura de entrada del agua refrigerante al circuito motor.
	T_COOLANT_OUT_MOT	Temperatura de salida del agua refrigerante del circuito motor.
<b>Lubricación</b>	T_OIL_GAL	Temperatura del aceite en el cárter.
<b>Combustible</b>	T_FUEL_INJ_BF	Temperatura de la gasolina antes de la bomba de alta presión.

Figura 4.1: Medidas obtenidas por termorresistencias.

- Termopares tipo K: Los termopares son un tipo de sensor que están formados por dos metales diferentes unidos entre sí. Cuando dicha unión sufre una variación de temperatura, se produce una tensión que es proporcional a dicha variación, con lo que se puede obtener la medida deseada.

Existen gran variedad de tipos de termopares que varían según los metales utilizados, elementos del sensor, etc. Sin embargo, los más comunes son los termopares tipo K. Los termopares tipo K cuentan con un conector positivo de níquel-cromo y un conector negativo de níquel-aluminio con los que, según la calibración, ofrecen rendimiento óptimo con temperaturas de hasta  $2030^{\circ}\text{C}$ . Por último, a la hora de elegir hay que tener en cuenta tanto los requisitos de la instalación, para elegir una sonda con diámetro óptimo, como la situación de trabajo, para saber si el sensor va a trabajar en ambientes con altas vibraciones o posibilidad de abrasión.

En el proyecto se han tenido gran cantidad de termopares en uso, tanto que venían con la instrumentación con la que ya contaba el motor, como instalados posteriormente. En la figura 4.2 se puede ver la lista completa con nombre de la variable y zona de medición.

TERMOPARES	NOMBRE	MEDIDA
A D M I S I Ó N	T_AIR_FILT_OUT	Temperatura del aire en la salida del filtro.
	T_COMP_OUT	Temperatura del aire en la salida del compresor.
	T_INTERCOOLER_OUT	Temperatura del aire en la salida del radiador.
	T_IN_MANI_1	Temperatura del aire en el colector de admisión.
	T_ADM_CYL_1	Temperatura del aire en la entrada del cilindro 1.
	T_ADM_CYL_2	Temperatura del aire en la entrada del cilindro 2.
	T_ADM_CYL_3	Temperatura del aire en la entrada del cilindro 3.
	T_ADM_CYL_4	Temperatura del aire en la entrada del cilindro 3.
E S C A P E	T_EXH_MANI	Temperatura del aire en el colector de escape.
	T_TURBINE_IN_INST	Temperatura del aire en la entrada de la turbina.
	T_TURBINE_OUT	Temperatura del aire en la salida de la turbina.
	T_DPF_IN	Temperatura del aire en la entrada del filtro de partículas.
	T_DPF_OUT	Temperatura del aire en la salida del filtro de partículas.
TURBO	T_OIL_TURBO	Temperatura del aceite en la entrada al turbo.
	T_COOLANT_IN_TURB	Temperatura del agua refrigerante en la entrada del turbo.

Figura 4.2: Medidas obtenidas por termopares

### 4.3 Medida de ángulo de giro del cigüeñal.

De cara al tratamiento de datos y debido a los sensores de presión que se utilizaron, era necesario localizar el punto muerto superior de cada cilindro, además de llevar un control del giro del motor. Para ello se utilizó el Crank Angle Encoder, de la empresa Kistler. Este es un sistema que se instala en un extremo del cigüeñal y registra la rotación de este. Es indispensable ya que proporciona la referencia para todas las demás medidas que tienen algún tipo de relación con la posición del cigüeñal como pueden ser, por ejemplo, la presión en las diferentes cámaras de combustión.

Este sistema cuenta con un sensor óptico que registra el giro leyendo el paso de una rueda dentada que se fija al cigüeñal con una gran precisión y obtiene una resolución de  $720 \times 0,5^\circ$ , es decir, cada 720 grados de giro del cigüeñal envía 1.440 pulsos que, al pasar por su electrónica, se convierten señales de posición.

Gracias a esta resolución, permite hacer una diferenciación entre medidas de los diferentes sensores del motor y así realizar un análisis más exacto de algunos de los datos obtenidos en los ensayos. En este proyecto se han utilizado diferentes tipos de sensores de presión que se pueden separar en dos categorías. Los sensores de “presión media” y los de “presión instantánea” sin embargo, los sensores de “presión instantánea” tienen una sinergia interesante con este sistema ya que otorgan la capacidad de observar en tiempo real datos sobre el comportamiento del motor en cada uno de los ciclos que realiza.

## 4.4 Medida de velocidad de giro del turbo.

La velocidad de giro del turbo está directamente relacionada con su actuación mientras el motor está en funcionamiento, por ello esta medida debía sufrir un control exhaustivo durante los ensayos. Con este objetivo, se instalaron sensores capaces de medir la velocidad de giro del rodete del turbocompresor, uno en cada sistema de sobrealimentación utilizado.

Se utilizaron sensores “turboSPEED DZ140”, de la empresa Micro-Epsilon, que se hayan instalados en la pared del compresor como se puede observar en la figura 4.3.

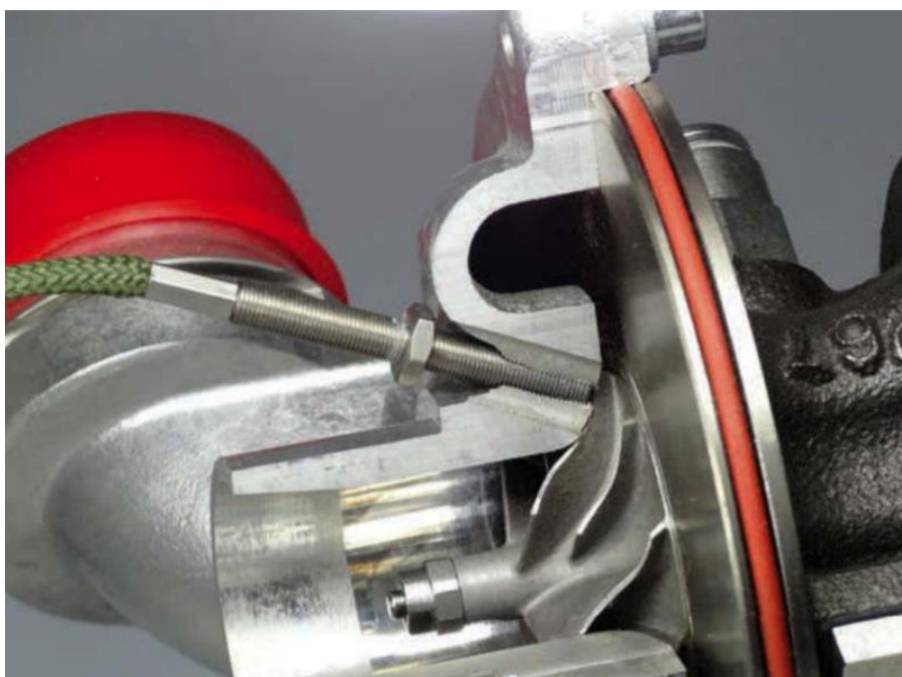


Figura 4.3: Sensor de velocidad de giro del turbocompresor.

El principio de funcionamiento del sensor es simple. En la punta del sensor, que se encuentra a una pequeña distancia de los álabes del compresor, hay una bobina que está alimentada con corriente alterna a alta frecuencia, creando así un campo electromagnético. Este crea corrientes residuales en los álabes del rotor cuando estos pasan cerca, con lo que con el paso se crea una alteración en el campo en forma de pulso. De esta forma, si se introduce en la electrónica del sensor el número de álabes presentes en el rotor, es capaz de calcular la velocidad de giro de este en rangos de entre 200 y 400.000 RPM.

El sistema es capaz de resistir temperaturas de hasta 115°C, por lo que tan solo puede ser instalado en la parte del compresor del sistema de sobrealimentación, sin embargo, tiene un tamaño de 3 mm de diámetro, lo que facilita su instalación.



## 4.5 Medidas de presión.

### 4.5.1 Sensores de presión media.

Las medidas de presión son imprescindibles tanto para el control de cualquier ensayo como para el posterior análisis y tratamiento de datos en el pertinente estudio.

Los sensores que se han utilizado en el proyecto son del proveedor Kistler, concretamente el Tipo 4262A. Utilizan captadores piezorresistivos, con lo que son capaces de variar su salida de tensión de manera proporcional a la presión realizada con una gran precisión. Además, cuentan con un gran aislamiento que les permite trabajar en condiciones adversas y aguantar gran cantidad de ciclos repetitivos como los que se crean, por ejemplo, a raíz del funcionamiento de un motor de combustión interna. Por último, existe una gran variedad de configuraciones y calibraciones de este tipo de sensores, por lo que se adaptan a la medida que se deba realizar. De esta manera, se han utilizado generalmente sensores para medir un rango de presiones de 0 a 7 bar menos en algunos casos donde también se utilizaron sensores con rangos de medición de 0 a 2 bar, o 0 a 10 bar.

Los captadores de presión con rango de 0 a 2 bar, se utilizan principalmente para mediciones próximas a presión ambiente, por ejemplo, la medida de presión de aire en la admisión del motor, antes de pasar por el compresor.

Los captadores de presión con rangos de 0 a 7 bar se utilizan normalmente para comprobar presiones de funcionamiento de sistemas del motor o auxiliares que puedan superar en algún momento los 2 bares de presión, como puede ser por ejemplo el circuito de aceite lubricante del motor.

Los captadores de presión con rango de 0 a 10 bar se han utilizado para medidas del circuito de aceite, ya que este en algunos casos puede llegar hasta 8 bar de presión en casos extremos y, si se hubiera puesto un sensor de 0 a 7 bar, existiría riesgo de poder perder la medida, lo que afectaría tanto a los datos obtenidos en los ensayos como a la seguridad durante estos.

A continuación, se puede ver en la figura 4.4 todas las medidas de presión que se han realizado en el estudio, ordenadas según las partes del motor o sistemas auxiliares a las que pertenecen, con la explicación de la medida y el rango utilizado.

PRESIONES MEDIAS	NOMBRE	RANGO (bar)	MEDIDA
ADMISIÓN	P_AIR_FILT_OUT	0 a 2	Presión del aire a la salida del filtro.
	P_COMP_OUT	0 a 7	Presión del aire a la salida del compresor.
	P_IN_MANI_2	0 a 7	Presión del aire en el colector de admisión.
ESCAPE	P_EXH_MANI	0 a 7	Presión del aire en el colector de escape.
	P_TURBINE_OUT	0 a 7	Presión del aire en la salida de la turbina.
REFRIGERACIÓN	P_COOLANT_OUT	0 a 2	Presión del agua refrigerante en la salida del circuito.
	P_COOLANT_IN_TURB	0 a 2	Presión del agua refrigerante en la entrada del turbo.
LUBRICACIÓN	P_OIL_TURBO	0 a 10	Presión del aceite en la entrada al turbo.
	P_OIL_GAL	0 a 7	Presión del aceite en el bloque motor.
COMBUSTIBLE	P_FUEL_INJ_BF	0 a 7	Presión de la gasolina en la entrada de la bomba de alta presión.

Figura 4.4: Medidas de presión media.

#### 4.5.2 Sensores de presión instantánea.

Para la realización de los estudios demandados por el proveedor en este proyecto, se han tenido que utilizar sensores capaces de medir la presión a muy alta frecuencia. Esta necesidad se debe principalmente a dos razones; en primer lugar, hay que tener en cuenta que la base de esta parte del proyecto es la comparación de diversos sistemas de sobrealimentación, con lo cual es imprescindible tener la capacidad de poder detectar las variaciones más mínimas de presión que pueden ocurrir entre los diversos turbos en diferentes condiciones de uso. Además, el motor objeto de estudio es un motor de encendido provocado, por lo que las presiones que se alcanzan durante la combustión en los diferentes cilindros llegan a variar considerablemente. En segundo lugar, este tipo de motores sufren frecuentemente de un problema conocido como “knocking” o “picado”, y el análisis de la presión existente durante la combustión, otorga la información necesaria para detectarlo.

##### 4.5.2.1 Presión instantánea en la cámara de combustión.

Los sensores de presión instantánea en la cámara de combustión tienen como principal función otorgar la información necesaria para poder determinar la existencia de knocking o picado.

El picado es un problema en la combustión que ocurre después de las fases de admisión y compresión del cilindro, al producirse la chispa, por cuestiones como temperatura, presión, dosado, avance de encendido... Se produce lo que se conoce como autoencendido de la mezcla de aire y combustible que se encuentra en el cilindro. Cuando comienza el encendido de la mezcla, sea provocado por la chispa de la bujía, o no, se produce un frente de llama que avanza consumiendo la mezcla. Por eso, cuando se produce autoencendido, se crean dos frentes de llama dentro del cilindro que

avanzan en diferentes direcciones y que, cuando se encuentran, producen grandes subidas de presión que dañan los límites de la cámara de combustión directamente, e incluso pueden dañar las bielas de los cilindros indirectamente.

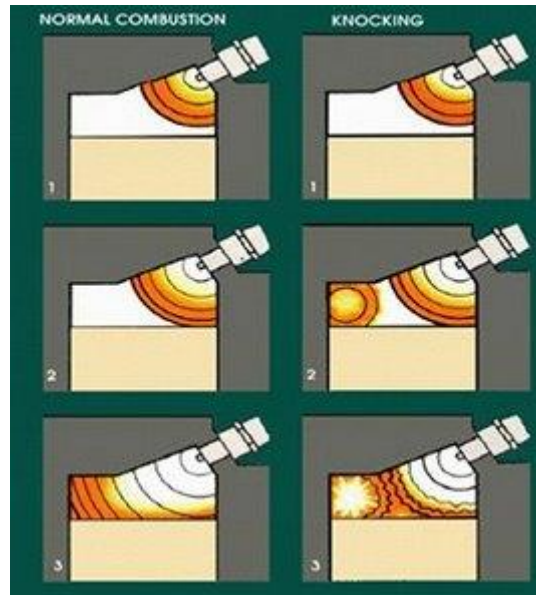


Figura 4.5: Fenómeno conocido como Knocking.

Actualmente todos los motores modernos cuentan con acelerómetros, que son sensores capaces de detectar grandes variaciones de presión. Así, envían la información a la ECU que realiza cálculos para obtener un porcentaje de ciclos del motor en los cuales se está produciendo este fenómeno y, si se superan los límites impuestos por el fabricante, el motor entra en un estado de emergencia, por el cual envía una alerta visual y reduce su par considerablemente.

Con el objetivo de caracterizar este fenómeno en la realización de los ensayos, se utilizaron unas bujías modificadas por la empresa AVL que cuentan con un sensor de presión capaz de medir la presión en la cámara de combustión. El sensor AVL Z133 es uno de los más importantes de todo el proyecto. Es capaz de medir hasta 200 bar de presión con una sensibilidad de 11 pC/bar y un error máximo del 0.3% por lo que, al contar con 1 sensor para cada cilindro, se contó con la capacidad de observar diferencias entre ciclos y cilindros con precisión, para así detectar el fenómeno.

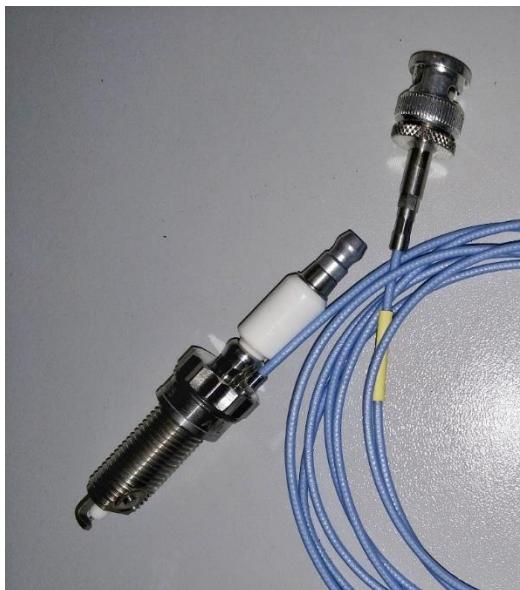


Figura 4.6: AVL ZI33.

Además del objetivo principal de estos sensores comentado arriba, tienen otra utilidad más enfocada al funcionamiento del propio motor, ya que los valores de la presión en la combustión son uno de los principales indicativos de la calidad de esta. Más adelante se detallan los procedimientos y efectos de la modificación del avance de encendido del motor, sin embargo, el tener la capacidad de medir la combustión dentro del propio cilindro, ha posibilitado la tarea de localizar un punto óptimo de funcionamiento del motor en los regímenes establecidos.

#### 4.5.2.2 Presión instantánea en admisión y escape.

En orden de importancia dentro del proyecto, la medida de presiones instantáneas tanto en admisión como en escape está justo detrás de la medida comentada anteriormente. Observar las variaciones de presión en los colectores de admisión y de escape durante el proceso de llenado y vaciado de un cilindro en un motor de combustión interna, otorga información sobre el comportamiento del turbo durante el funcionamiento del motor.

Por ello, se utilizaron los siguientes sensores:

- Sensor Kistler Tipo 4045A: Este es un sensor de alta precisión fabricado especialmente para la medición de la presión absoluta de admisión en motores de combustión interna. Es capaz de medir presiones de hasta 500 bar, y funciona basándose en el mismo principio que los sensores de presión de los que se ha hablado anteriormente, es decir, es un sensor piezorresistivo, aunque su

funcionamiento es diferente. En el interior del sensor, dentro de su estructura en forma de diafragma, se encuentran resistencias piezorresistivas conectadas formando un puente de Wheatstone, que a su vez se encuentra envuelto en un aceite de silicona. Con esta configuración, el sensor es capaz de medir variaciones de presión muy pequeñas, tanto de presión absoluta como de presión en vacío.



Figura 4.7: Kistler Tipo 4045A

- Sensor Kistler Tipo 4049A: Este sensor está específicamente diseñado para la medición de presión de gases a altas temperaturas, particularmente configurado para estar en ambientes como el colector de escape de un motor de combustión, o la turbina de un sistema de sobrealimentación. El sensor cuenta con un sistema de refrigeración que consiste en una serie de conductos que, al ser conectados a una corriente de agua, permiten al sensor aguantar temperaturas de hasta 1100°C y medir presiones de entre 0 y 5 bar en el caso concreto del que se utiliza en este proyecto. Además, para garantizar en todo momento que la medida es fiel, el sensor está configurado para compensar digitalmente la medida si esta se ve afectada por la refrigeración interna, con lo que asegura una gran precisión.

## 4.6 Medida de consumo de combustible.

La medida del consumo de combustible, en principio, tan solo es necesaria para el posterior estudio de los datos obtenidos durante los ensayos, sin embargo, tanto esta medida como la medida del flujo de aire que entra al motor deben de recibir un control exhaustivo en los ensayos, dado que son útiles de cara a poder detectar posibles errores en la realización de las pruebas o falta de repetitividad en el motor, entre otras cosas.

Para la obtención de esta medida durante la realización de los ensayos se utiliza un sistema de la compañía AVL llamado Fuel Balance AVL733S.

La balanza de combustible es muy útil ya que es capaz de medir consumos de combustible incluso en ensayos cortos por sus métodos de medida. En su interior, cuenta con un depósito donde es posible almacenar hasta 2 Kg de combustible. A su vez, este depósito está unido a un captador de movimiento por una palanca, de manera que, cuando se vacía el depósito, se registra una variación en el sensor y se realiza el cálculo según la pérdida de peso, como se puede observar en la figura más abajo. Además, cuenta con pesos de calibración que permiten calibrar el sistema de acuerdo con la norma ISO 9001.

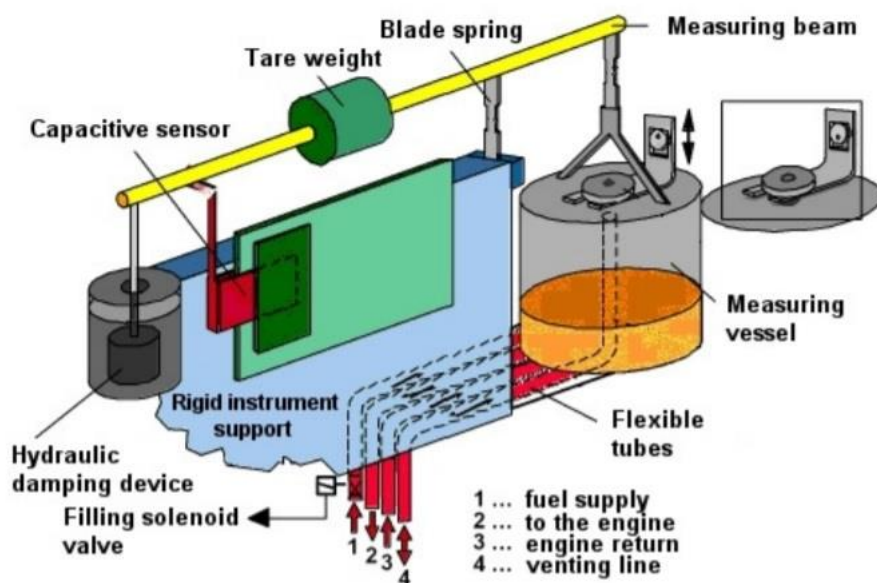


Figura 4.8: Balanza de combustible.

La masa de combustible consumida se determina gravimétricamente, lo que significa que las variaciones de densidad que se puedan producir en caso de utilizar un combustible u otro no afectan a la medida obtenida por el sistema, aunque en el presente proyecto el único combustible que se ha utilizado es gasolina con 95 de octanaje.

## 4.7 Medida del flujo de aire.

La medida del flujo de aire es estimada por la ECU del motor a partir de sus sondas Lambda ubicadas en el escape, sin embargo, de cara a los posteriores cálculos, es interesante tener diferentes medidas de algo tan importante como es el gasto másico

de aire que entra al motor. Por ello, se utilizó un sistema capaz de medir este flujo llamado AVL FlowsoniX Air. Este sistema está específicamente diseñado para ser capaz de medir de manera precisa el flujo de aire de admisión de cualquier tipo de motor, ya sea mono o multi-cilíndrico. A pesar de su gran envergadura, que alcanza los 2,5 metros de longitud, su mantenimiento es muy sencillo y no requiere de recalibraciones con el uso, lo que garantiza que no se creará un error en las medidas con el paso de los ensayos.

El sistema cuenta con dos sensores ultrasónicos que envían dos señales en direcciones transversales a  $45^\circ$  de la dirección del flujo. El flujo en movimiento dentro del sistema varía la velocidad de los pulsos, acelerando el que se mueve en una dirección favorable al flujo y decelerando el contrario. Una vez recibe las señales, calcula la diferencia de tiempo y así estima la velocidad del flujo que ha desviado la señal, pudiendo así medir circulación de flujos en ambas direcciones sin que afecte a la medida.

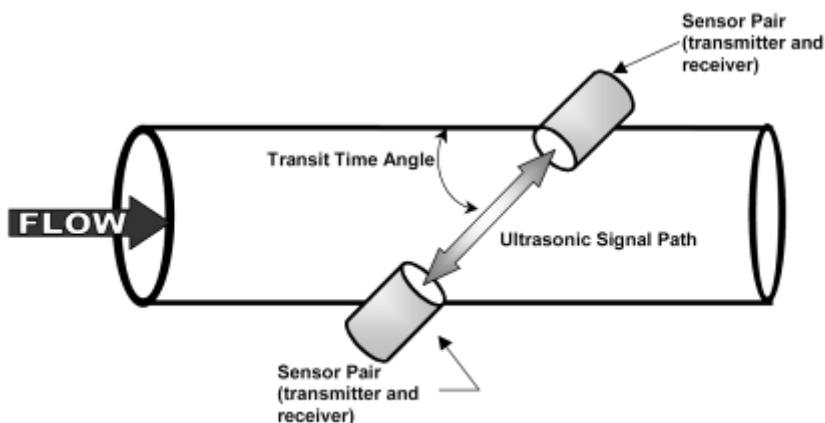


Figura 4.9: Principio de medida de flujo de aire.

Este sistema de medida cuenta con una gran precisión, además de ser capaz de medir con frecuencias de hasta 1 kHz.

## 4.8 Medida del par y de la velocidad de giro del motor.

Tanto para realizar los ensayos, como para la medida de par y de velocidad de giro del motor, se utiliza un dinamómetro asíncrono instalado en el banco de ensayos. Este, en concreto, se trata del modelo AFA 200/4-8EU de la empresa AVL, cuyas características están sintetizadas en la siguiente figura.

Característica	Valor
Tensión	3 x 380 V
Frecuencia	50 Hz
Intensidad	371 A
Numero de polos	2
Potencia nominal	200 KW
Par máximo	478 N·m
Masa total	1120 kg

Figura 4.10: Características del dinamómetro.

El dinamómetro, cuenta con una cabina de control que se encuentra ubicada en otra sala, y cuya función es recibir la corriente alterna de alimentación suministrada por la red a una frecuencia de 50 Hz y convertirla en corriente continua para poder variar su frecuencia y su amplitud. Posteriormente, el sistema vuelve a transformar la corriente a alterna para alimentar el dinamómetro, pero ya a la frecuencia y amplitud requerida por el punto del funcionamiento del ensayo. De esta forma, es capaz de conseguir las siguientes características de par y potencia.

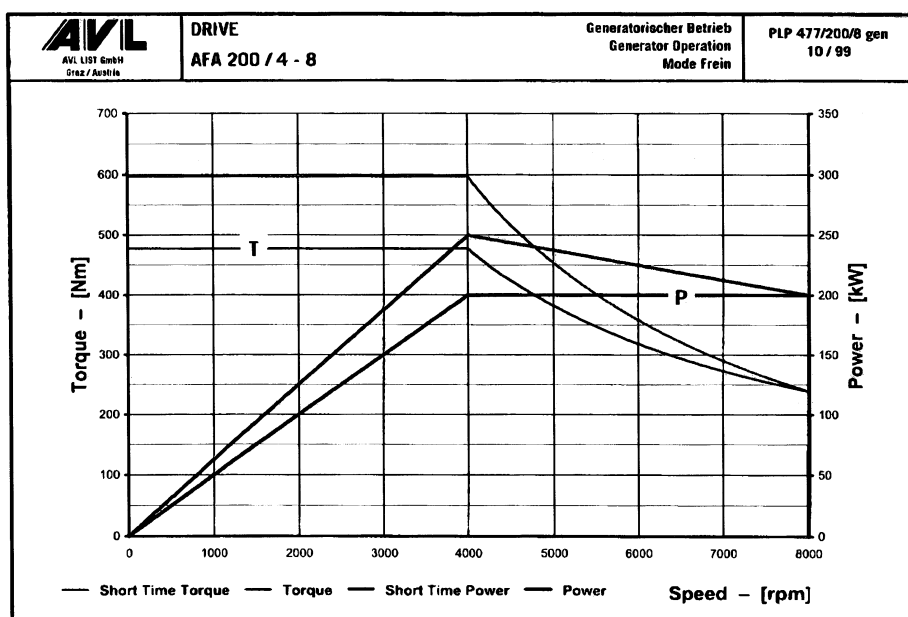


Figura 4.11: Característica de par y potencia del dinamómetro.



## 4.9 Sistema de medida y control de parámetros del motor durante los ensayos.

En este apartado se tratarán los programas informáticos que se utilizan tanto para el display de las medidas obtenidas por los sensores comentados anteriormente en tiempo real, como de los que se utilizan para el control de parámetros de funcionamiento del motor, es decir, para la lectura y control de parámetros de la ECU.

Además de eso, para la realización de los ensayos se realiza el control del dinamómetro, que es el encordado del movimiento del motor cuando este se encuentra girando con pedal nulo o de frenarlo si se quiere reducir la velocidad de giro, de manera informática. Utilizando el programa de AVL llamado Puma, se consigue tanto ordenar unas características concretas de funcionamiento en un punto, a partir de par y velocidad de giro, por ejemplo, o directamente registrar una serie de transiciones creando así ciclos enteros de ensayos que se realizan automáticamente.

### 4.9.1 Lectura de sensores y control de sistemas de sala.

Durante los ensayos, desde todos los sensores y sistemas auxiliares instalados en el motor o el banco de ensayos, llega un gran volumen de datos que es necesario tratar en el momento. Con ese objetivo, se utiliza el programa informático PUMA, de la empresa AVL.

A parte del sistema informático, para su uso es necesaria la instalación de un conjunto de módulos que son los encargados de filtrar y ordenar la información, de cara a que cumpla con el display configurado previamente a la hora de mostrar los datos en pantalla y que se pueda realizar el control de los demás sistemas que se encuentran en la sala.

#### 4.9.1.1 Lectura de sensores.

Todos los sensores externos al motor, es decir, termopares, termorresistencias, sensores de presión, etcétera, que se hayan instalado tanto por el proveedor antes de enviar el motor como posteriormente antes de realizar los ensayos, están conectados al sistema de módulos de recogida de datos. El flujo de información es muy grande, con lo que la frecuencia máxima con la que el sistema puede trabajar es de 20 Hz, que es muy inferior a la frecuencia con la que trabajan los sensores de presión instantánea, cuya información es tratada con un programa externo, y que funcionan a una frecuencia dependiente directamente del régimen de giro del motor gracias al sistema de medida del giro del cigüeñal.

Por lo anteriormente nombrado, las medidas de presión obtenidas y procesadas mediante el Puma adoptan el sufijo “medias” en su nombre, como se puede observar en el apartado 4.5.1, para ser diferenciadas de las medidas de presión obtenidas por los sensores de presión instantánea.

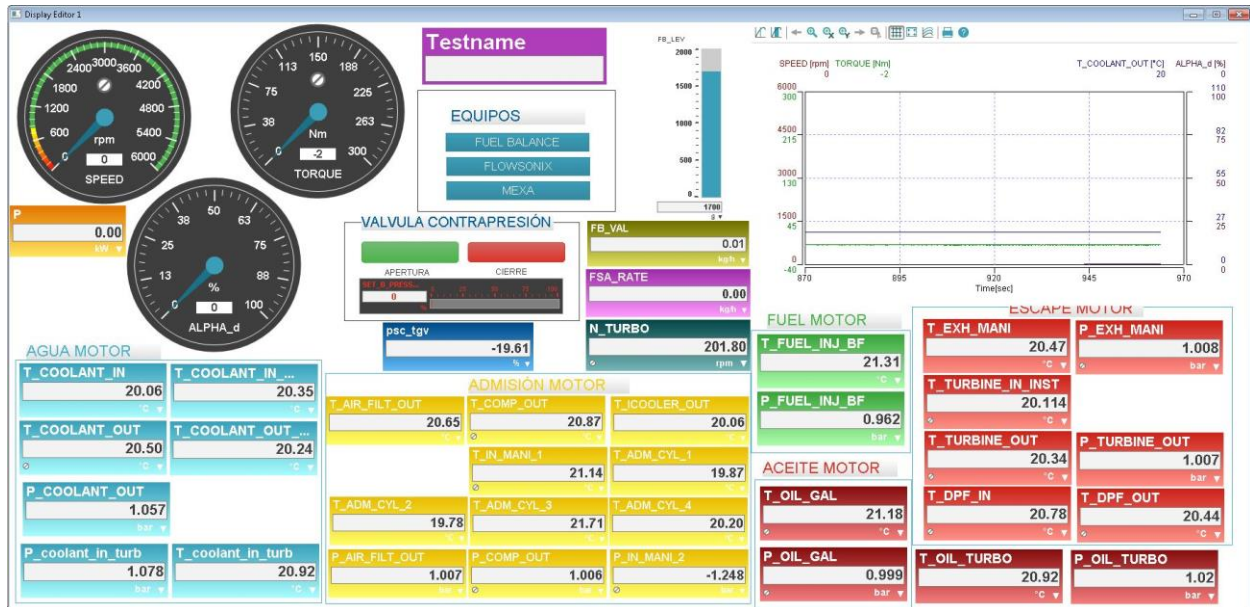


Figura 4.12: Panel de control del programa PUMA.

Como se puede apreciar en la figura XX, el display de las medidas en pantalla está ordenado por bloques y colores, que corresponden a las diferentes zonas del motor o a los elementos auxiliares con los que este cuenta, como puede ser por ejemplo su sistema de refrigeración.

En primer lugar, hay una primera zona, que visualmente es parecida al velocímetro de un vehículo. Ahí se sitúan los parámetros referentes al punto de funcionamiento del motor en los ensayos. Cada uno de los círculos corresponde con una medida, siendo velocidad de giro del motor en RPM, porcentaje de acelerador y par ordenados de derecha a izquierda. Además, hay un pequeño recuadro a la izquierda que indica la potencia que se obtiene del motor en el punto de operación actual, calculada a partir del par y la velocidad de giro de este.

A continuación, se sitúa el bloque de medidas en referencia al circuito de agua refrigerante del motor. El motor, cuando va instalado en un vehículo, utiliza el radiador para refrigerar esta agua, sin embargo, durante los ensayos no existe flujo de aire ya que el motor se encuentra estático, por lo que se utiliza un intercambiador de calor agua-agua a contracorriente para enfriar el refrigerante. Además, existe un sistema de válvulas que controlan el flujo de agua por el intercambiador. Estas válvulas están programadas mediante un PID, por lo que se tiene la capacidad de marcar una temperatura de consigna a la que se quiere que el agua refrigerada entre al motor, así,

se evita introducir agua muy fría en el motor y que pueda existir choque térmico si se está realizando un ensayo de plena carga, que es donde mayores temperaturas alcanza el motor. Para la regulación de este sistema, se utiliza la variable conocida como “T\_COOLANT\_OUT”, que, como se puede observar en el esquema más abajo, se toma en la salida de agua del intercambiador de calor.

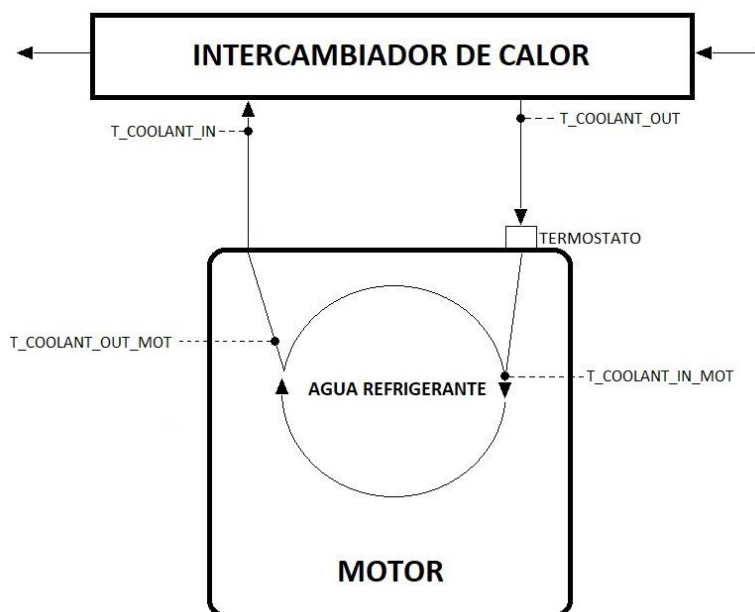


Figura 4.13: Esquema del circuito de refrigeración de agua de motor.

Observando la figura 4.12 desde el bloque anterior hacia la derecha, se haya el siguiente bloque de medidas, que corresponde a las que se toman en la admisión del motor o están relacionadas con esta, como puede ser el filtro de aire. Estas medidas están tomadas con los termopares y sensores de presión media anteriormente nombrados.

Arriba de estas se sitúa un bloque que se puede subdividir en dos, perteneciendo estas partes a las medidas de consumos tanto de aire como de combustible. La medida del consumo de aire llega desde el caudalímetro anteriormente nombrado, el AVL FlowsoniX Air, y aparece directamente en pantalla. La medida del consumo de combustible llega directamente de la balanza de combustible que otorga el consumo instantáneo de combustible del motor durante la realización del ensayo. En segundo lugar, dentro de este mismo bloque, pero en la parte superior, se puede observar una barra que indica los gramos de combustible que se encuentran en la balanza. Sin embargo, desde aquí no solo se puede observar el contenido de esta, sino es posible acceder a su pantalla de control para configurar el sistema.

El siguiente elemento que se puede observar hacia la derecha por la figura XX, en la parte superior, se encuentra un gráfico que realiza un seguimiento en vivo de las

variables de par, en Nm, velocidad de giro, en RPM, temperatura de salida del agua refrigerante del motor, en °C, y porcentaje de acelerador, sin embargo, es tan solo un elemento visual que no permite ningún control, aunque es útil para observar alguna posible alteración anómala en el funcionamiento del motor durante el ensayo.

Más abajo, se encuentran las medidas de temperaturas y presiones tanto de combustible, medidas en la entrada a la bomba de alta presión, como de aceite, medidas en el cárter y en el bloque respectivamente.

Y, por último, se halla el bloque de medidas correspondiente a la parte de escape del motor, es decir, todas las presiones medias y temperaturas medidas desde el colector de escape hasta el filtro de partículas.

#### 4.9.1.2 Control de sistemas de sala.

Además de mostrar en pantalla la lectura de los sensores instalados en el motor, el Puma ofrece la posibilidad de realizar un control a distancia de los sistemas auxiliares presentes en el banco de ensayos, como son la balanza de combustible, el caudalímetro y el dinamómetro.

Este control se puede realizar de diversas formas, pero la manera más completa, es accediendo a cada una de las pantallas de control de cada uno de los sistemas con las que cuenta el programa informático.

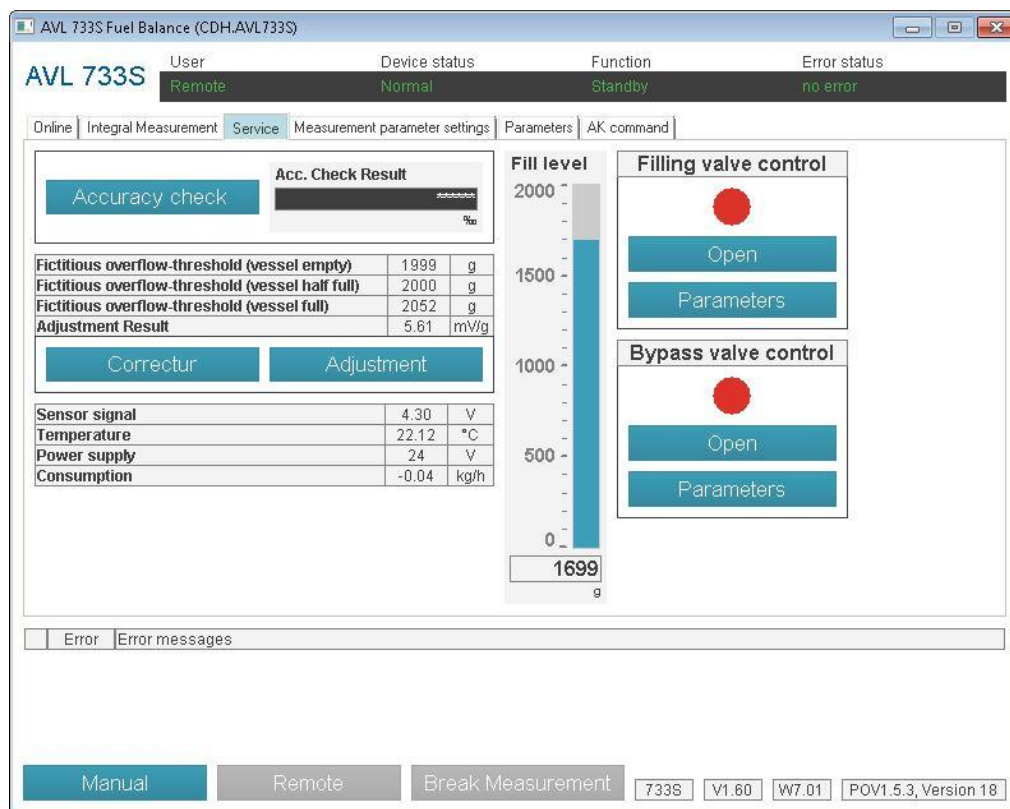


Figura 4.13: Pantalla de control de la balanza de combustible.

En primer lugar, la figura 4.13 que corresponde a la pantalla de control de la balanza de combustible. En ella se encuentran diferentes pestañas que conducen a diversas opciones de configuración, sin embargo, la pantalla más importante es la que se puede observar en la figura. En ella se puede ver la cantidad de combustible que hay actualmente en el depósito, tanto gráficamente, como medido en gramos.

En funcionamiento, el motor va consumiendo combustible de la balanza hasta que esta se queda vacía; entonces esta se rellena automáticamente. Sin embargo, durante el tiempo en el que la balanza se llena, el sistema no es capaz de registrar la medida de consumo de combustible, con lo que se dispone de una opción de orden de llenado con la que se puede llenar en cualquier momento la balanza y así asegurar que esta no comienza el proceso durante la grabación de un punto estacionario.

A continuación, la figura 4.14 corresponde con la pantalla de control del caudalímetro. En ella se pueden observar otras medidas como la temperatura del aire, o realizar medidas en intervalos de tiempo determinados.

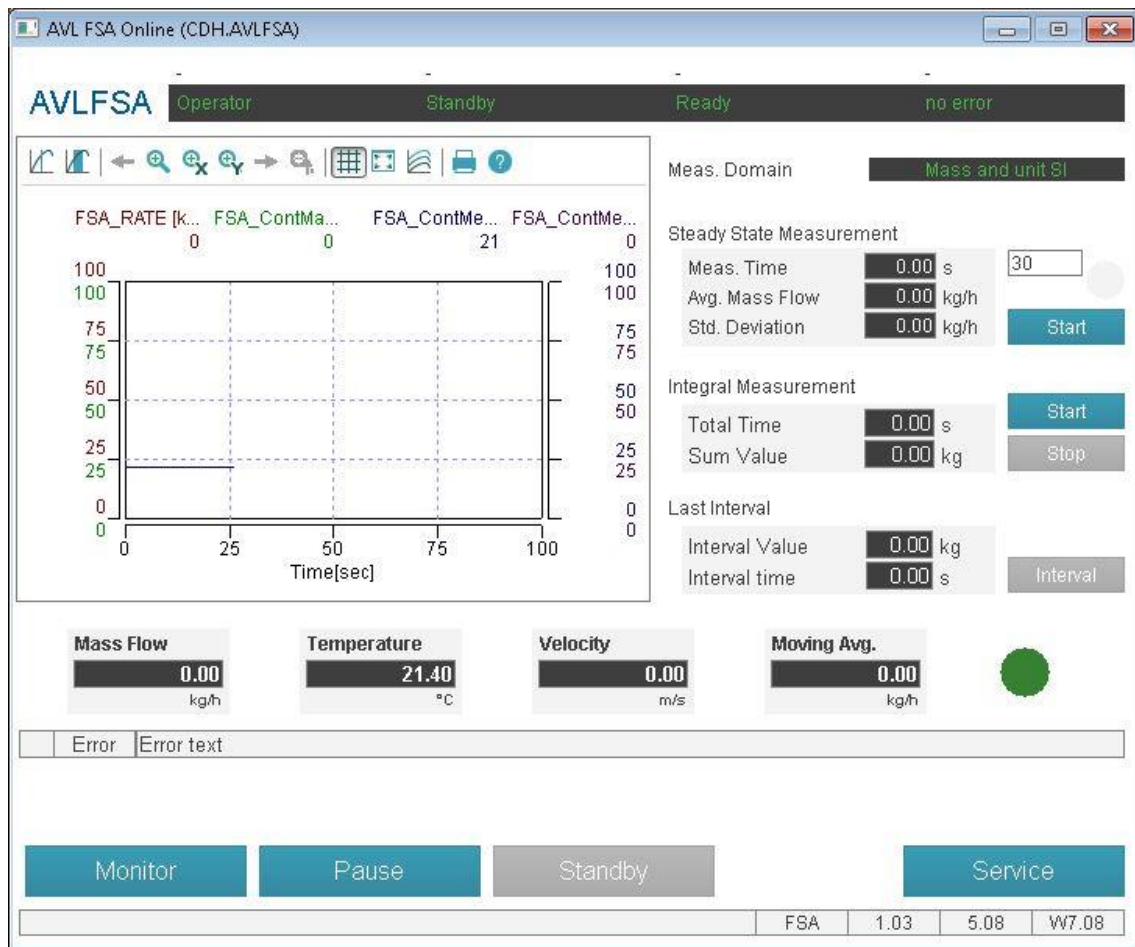


Figura 4.14: Pantalla de control del caudalímetro.

Por último, está el dinamómetro, cuyo control es crucial para la realización de los ensayos.

A diferencia de los sistemas nombrados anteriormente, el dinamómetro no cuenta con una pantalla dedicada a su control, ya que hay muchas formas de realizarlo y, al estar conectado al motor mediante la transmisión, el control de este es directamente el control del punto de funcionamiento del motor.

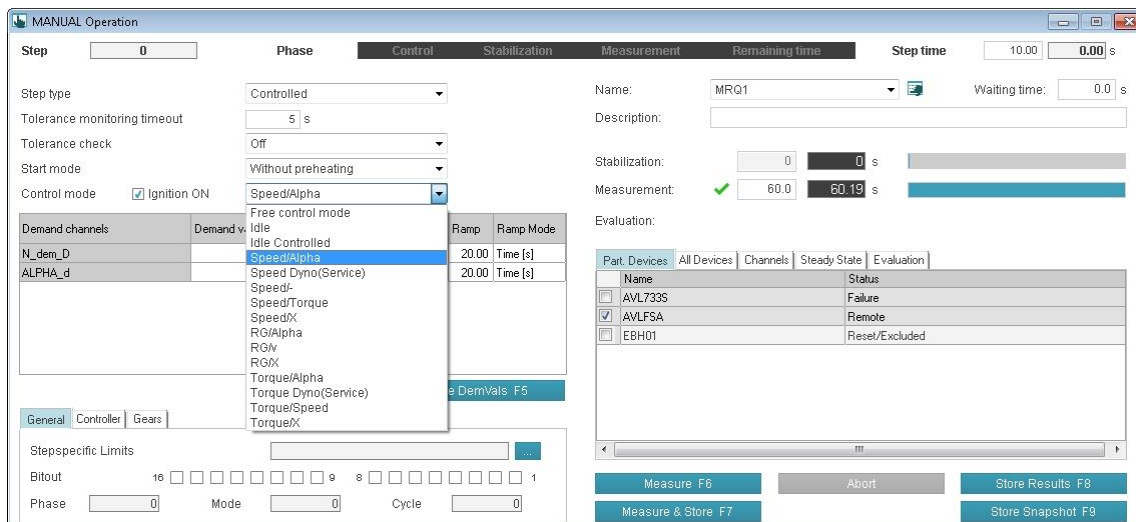


Figura 4.15: Modos de control en manual.

Utilizando el programa Puma, se necesitan dos parámetros para establecer el punto deseado. Como se puede ver en la figura XX, existe gran variedad de combinaciones con las que se puede trabajar, sin embargo, en los ensayos se utilizó la combinación velocidad de giro del motor/acelerador, ya que, en primer lugar, la velocidad de giro se mide directamente desde el propio freno, y, en segundo lugar, el acelerador está configurado en el Puma de la misma forma que estaría en un vehículo, es decir, se introdujo la recta de señal eléctrica que envía el actuador original del acelerador al motor en el PUMA. De esta forma, se realiza un control del punto de funcionamiento basado en parámetros medidos directamente con nuestros sistemas, lo que otorga la confianza de contar con precisión a la hora de realizar los ensayos.

#### 4.9.2 Lectura y control de parámetros del motor.

Como todos los motores modernos, el HR13 cuenta con gran cantidad de sensores de todo tipo, que envían constantemente información a la ECU para que esta analice con sus mapas estos datos y garantice el buen funcionamiento del motor. De igual forma que el ordenador central del motor es capaz de modificar parámetros de funcionamiento de este para alcanzar puntos de funcionamiento concretos, mediante el programa informático INCA de la empresa ETAS, se accede a la ECU mediante conexión CAN y este otorga la capacidad tanto de leer la información que recibe, como modificar ciertos parámetros y mapas en función de los ensayos requeridos por el proveedor.

Una vez configurada la conexión, el proveedor proporcionó la configuración que ellos utilizan en el programa para facilitar la comprensión de los datos a la hora de ensayar, ya que dicha configuración consiste en la selección de las variables que se



quieren mostrar en las diversas pantallas del programa, el formato en las que se quieren mostrar, es decir, como valor numérico, formando un gráfico que se actualiza en tiempo real, en forma de mapa, etcétera.



Figura 4.16: Pantalla de control del programa informático INCA.

A pesar de todas las variables que se pueden apreciar en la figura más arriba, durante los ensayos tan solo se han utilizado las necesarias por exigencias del proveedor, que se encuentran marcadas en recuadros rojos. El único problema radica en los nombres de dichas variables. Al leerlas directamente del ordenador central del motor, tienen nombres esquemáticos como se puede observar en la figura XX, sin embargo, el proveedor también proporcionó una hoja Excel donde se indicaban a qué medidas correspondían. Las variables que han sufrido modificaciones durante la realización del proyecto son las siguientes:



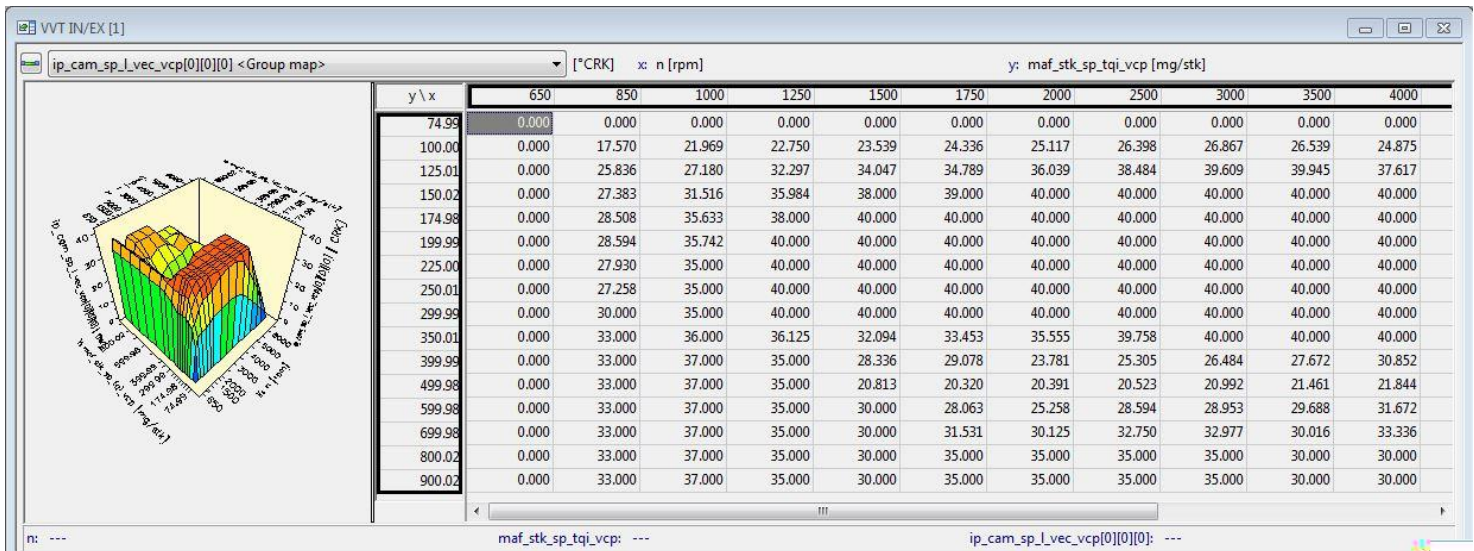
Tipo	Nombre ECU	Descripción
C O N T R O L	c_lamb_sp_man_lamb_cord	Valor de control de Lambda.
	lc_lamb_sp_man_act_lamb_cord	Interruptor lógico de control del valor de Lambda.
	lc_cam_sp_man_vcp[0]	Interruptor lógico de control del valor de apertura de las válvulas de admisión.
	c_cam_sp_man_vcp[0]	Valor de control de apertura de las válvulas de admisión.
	lc_cam_sp_man_vcp[1]	Interruptor lógico de control del valor de apertura de las válvulas de escape.
	c_cam_sp_man_vcp[1]	Valor de control de apertura de las válvulas de escape.
	lc_iga_man_act	Interruptor lógico de control del valor de avance de encendido de chispa.
	c_iga_man	Valor de control del avance de encendido de chispa.
	c_posn_sp_bpa_ext[0]	Valor de control de apertura de la válvula Wastegate del turbocompresor.
	lc_posn_sp_ext_bpa[0]	Interruptor lógico de control del valor de apertura de la válvula Wastegate del turbocompresor
L E C T U R A	map	Valor de lectura de la ECU de flujo másico de aire.
	map_sp	Valor de lectura del mapa de flujo másico de aire.
	lamb_sp_fil_hom[0]	Valor de lectura del mapa del valor de Lambda
	lamb_ls[0]	Valor de lectura de la segunda sonda Lambda
	lamb_ls_up[0]	Valor de lectura de la primera sonda Lambda
	cam_sp_vcp[0]	Valor de lectura del mapa de apertura de válvulas de admisión.
	cam_vcp[0]	Valor de lectura de la ECU de apertura de válvulas de admisión.
	cam_sp_vcp[1]	Valor de lectura del mapa de apertura de válvulas de escape.
	cam_vcp[1]	Valor de lectura de la ECU de apertura de válvulas de escape.
	tps_sp	Valor de lectura del mapa de apertura de la mariposa de admisión.
	tps_etc	Valor de lectura de la apertura de la mariposa de admisión.
	iga_av_mv	Valor de lectura de la ECU del avance de encendido de chispa.

Figura 4.17: Cuadro explicativo de las variables utilizadas de INCA.

#### 4.9.2.1 Mapas del motor.

Una de las partes más importantes de la ECU a la que se pueden acceder son los mapas del motor. Así como también es importante poder modificar valores concretos de ciertos parámetros como puede ser el avance de encendido, es muy interesante el hecho de poder acceder a mapas completos ya que otorgan gran cantidad de información del funcionamiento del motor en todos los posibles puntos de funcionamiento.

Los mapas son tablas cuyos ejes siempre están ordenados del mismo modo. En el eje vertical, se puede observar una serie de valores que van desde 74.99 a pasados 900, esto corresponde al gasto másico de aire que entra al motor, que es estimado por este gracias a sus sondas Lambda ya que al ser un motor de encendido provocado no cuenta con un caudalímetro, medido en miligramos por cilindro y ciclo, es decir, cantidad de aire que entra a cada cilindro en la realización de dos vueltas del motor. En el eje horizontal se dividen en columnas diferentes valores referentes a la velocidad de giro del motor medido en revoluciones por minuto. Por último, una vez creados los ejes de la tabla, esta está rellena con los pertinentes puntos de funcionamiento. Por ejemplo, en la figura 4.17 se puede ver el mapa de la transmisión variable en admisión, es decir, el motor puede modificar la posición de las levas que abren las válvulas de admisión en este caso, modificando el momento y el tiempo total de apertura, por tanto, en el interior del mapa están los valores que indican la apertura de dicha válvula.



4.18: Mapa motor de control de la válvula de admisión.

Aparentemente el funcionamiento de un mapa motor puede parecer sencillo, con el régimen de giro del motor y el flujo de aire se obtiene un valor del mapa y la ECU lo aplica al sistema, sin embargo, es más complicado que eso. El motor en funcionamiento se encuentra constantemente variando, es decir, si se configura el Puma para que el motor gire a 3000 RPM, este oscilará entre 2998 y 3002, con lo que observando la tabla de la figura 4.17, el valor de apertura de válvulas estaría oscilando constantemente entre 3 columnas, lo que sería fatal para el funcionamiento del motor. Lo mismo pasa con los valores de gasto másico de aire, por lo que el mapa funciona siempre interpolando entre 4 valores. En todo momento, la ECU interpola entre 4 valores que obtiene cogiendo 2 columnas y 2 filas según el punto de funcionamiento del motor y viendo donde se cruzan, así, los cambios en los valores del motor son mucho más suaves, a pesar de que los valores del mapa puedan variar considerablemente.

## Capítulo 5: Ensayos experimentales y análisis de resultados



## 5.1 Introducción.

La parte más importante del proyecto corresponde al estudio experimental y la obtención de resultados en correspondencia con los objetivos propuestos por el fabricante del motor.

En este capítulo, se describen los diferentes tipos de ensayos que se realizaron. Desde el planteamiento por parte del fabricante y los objetivos de cada uno de ellos, hasta las conclusiones obtenidas tras su realización, pasando por una descripción detallada de la preparación y la realización de estos.

## 5.2 Ensayos preliminares.

Una vez el motor y todos los sistemas auxiliares y de control se hallan preparados se debe comprobar que funcionan correctamente, por ello se procede a realizar unos ensayos preliminares.

Estos ensayos están divididos en dos fases; en primer lugar, se debe realizar lo que se conoce como arrastres, con el objetivo de realizar medidas de prueba para comprobar que todos los sistemas presentes en el banco de ensayos funcionan correctamente.

En segundo lugar, hay una serie de ensayos estacionarios impuestos por el fabricante ya que, como el motor es completamente nuevo, este necesita realizar un rodaje antes de pasar a los estudios.

### 5.2.1 Arrastres.

Los ensayos de arrastre son un tipo de ensayo preliminar por el cual el motor gira arrastrado por el dinamómetro eléctrico, pero sin realizar inyección de combustible, de igual manera que cuando un vehículo se deja llevar mientras recorre una ruta con desnivel en sentido descendente.

Este tipo de ensayo tiene como objetivos, en primer lugar, realizar una revisión del correcto funcionamiento tanto de los sistemas de medida y sensores, como del correcto funcionamiento de las conexiones y la respuesta de los sistemas de control del banco de ensayos.

En segundo lugar, la realización de este tipo de ensayos es útil de cara a la visualización de variables como la presión en el interior del cilindro. Esto permite determinar el desfase de la señal de 1+vueltas del codificador angular respecto a la posición del punto muerto superior (PMS) del pistón. Si se determina el PMS, se puede adecuar el sistema de medida y visualización en base LABVIEW que se ha comentado anteriormente y facilita tanto el análisis visual de la evolución de la presión en el cilindro del motor durante la realización de los ensayos como el posterior tratamiento de datos.

### 5.2.2 Rodaje.

El rodaje es una parte imprescindible que se debe hacer cuando se recibe el motor nuevo y este inicia su servicio, tanto en una sala de ensayos como en cualquier vehículo. A pesar de que los componentes de un motor a día de hoy se diseñan y fabrican con una gran precisión, siempre existen tolerancias que pueden llevar a pequeñas imperfecciones, que son pulidas con el rodaje del motor. Por ello, durante el período inicial de trabajo, es sabido que los componentes mecánicos del motor sufren un desgaste por el cual se adaptan entre ellos. Estos pequeños rozamientos que se van eliminando afectan directamente a las prestaciones y al rendimiento del motor, ya que incide en el rendimiento mecánico tiene el sistema, lo que afecta, por ejemplo, al consumo de combustible.

En busca de que los ensayos sean lo más fiables posibles, el fabricante propuso un rodaje que consiste en la realización de diversos puntos estacionarios, indicados por el régimen de giro, y en los cuales se debe permanecer un tiempo de 30 minutos a plena carga. En la figura 5.1 se resumen los puntos propuestos por el fabricante.

RÉGIMEN	Grado de carga	Tiempo
RPM	%	MIN
1000	100	30
1250	100	30
1500	100	30
1750	100	30
2000	100	30
2500	100	30
3000	100	30
3500	100	30
4000	100	30
4500	100	30
5000	100	30
5500	100	30

Figura 5.1: Cuadro resumen de los puntos estacionarios de rodaje.

Con esto, además de conseguir limar las impurezas, se provoca que el motor permanezca a altas temperaturas durante tiempos prolongados, con lo que se consigue que los materiales se adapten térmicamente. Los materiales sufren variaciones en sus dimensiones con el aumento de temperatura, sobre todo los metales y más si en la composición de las piezas coexisten diferentes materiales, por tanto, es necesario también que el motor se estabilice térmicamente.

## 5.3 Ensayos estacionarios.

El primer bloque de ensayos propuesto por el fabricante consta de ensayos de plena carga en diferentes regímenes. El objetivo de este tipo de ensayos es observar cómo afectan los diferentes sistemas de sobrealimentación utilizados a las prestaciones y otros parámetros de funcionamiento del motor. Además, es interesante realizar una observación de cómo afectan los diferentes turbogrupos a la presión de escape, la temperatura en el colector de escape y la turbina, etc. Ya que estos afectan directamente al comportamiento del motor y existen límites tanto de temperatura como de presión que se deben respetar en vista a conservar la integridad de este.

Durante el proyecto, se han realizado ensayos de plena carga utilizando los dos sistemas de sobrealimentación presentes en este proyecto. Estos sistemas se controlan de maneras diferentes, por tanto existen pequeñas diferencias en el procedimiento de la realización del ensayo que se detallan en los pertinentes apartados.

### 5.3.1 Metodología de ensayo

#### 5.3.1.1 Control en estacionario.

Para realizar el control de los ensayos en puntos estacionarios se utiliza el modo manual del programa informático AVL PUMA. En él, como se ha podido ver en el capítulo anterior, se introducen dos parámetros para realizar el control del punto de funcionamiento del motor.

En este caso, dado que el objetivo de estos ensayos es el análisis del comportamiento del motor a plena carga, se configuraron los puntos de funcionamiento basados en los regímenes demandados por el fabricante.

Los regímenes demandados por el fabricante son los siguientes:

<b>Régimen</b>	<b>Par aproximado</b>
RPM	N.m
1000	124,0
1250	168,2
1500	250,0
1750	270,0
2000	270,0
2500	270,0
3000	270,0
3500	270,0
4000	270,0
4500	254,6
5000	229,2

Figura 5.2: Puntos de funcionamiento para plena carga.

#### 5.3.1.2 Procedimiento de ensayo y parámetros influyentes.

En la primera parte del proyecto se realizaron ensayos estacionarios con el motor en diferentes regímenes a plena carga. Para ello, sin modificar la calibración original de la ECU y una vez el motor alcanza temperaturas de trabajo, tanto del aceite como del líquido refrigerante, de 90°C, se configura el régimen de giro del punto de funcionamiento objetivo y, partiendo de un punto de baja carga, se procede a aumentar progresivamente el grado de acelerador aplicado desde el programa de control PUMA.

Una vez el motor se encuentra en el punto de funcionamiento a plena carga, se comprueban los valores de presión de admisión, MAPO (Maximum Amplitude Pressure Oscillation), y temperatura de escape para determinar si es posible acercarse más a los límites propuestos por el fabricante. En caso afirmativo, se realizan los siguientes pasos:

- Primero: Se procede a aumentar la presión de admisión con el objetivo de aumentar el par motor. Para ello, se modifica el parámetro de apertura de la wastegate si el motor está funcionando con el sistema de sobrealimentación base, o se modifica el valor de actuación sobre la geometría variable de la turbina, si el motor está funcionando con el sistema de sobrealimentación con TGV. Este parámetro se modifica de manera que la presión de admisión suba, pero teniendo en cuenta los



límites de presión de admisión y la aparición de autoencendido, siendo lo segundo el resultado más común.

- Segundo: Con la aparición de knocking, el motor requiere del retraso del encendido de bujías. Esta acción tiene dos consecuencias principales en otros parámetros. En primer lugar, provoca un aumento de la temperatura de escape del motor, por lo que se debe controlar este valor durante la realización de este paso. En segundo lugar, el retraso del punto de encendido de la mezcla provoca una reducción de la presión de combustión en el cilindro, lo que deriva en una menor presión de sobrealimentación y reduce el posible knocking existente. La combinación de la reducción de la presión de admisión, y desaparición del autoencendido, crea la necesidad de volver a realizar el primer paso de este procedimiento.
- Tercero: Una vez el motor se encuentra en un punto de funcionamiento estable donde, con un alto valor de par en función al régimen de giro, tanto el autoencendido como la presión de admisión se encuentran dentro de los límites, en caso de que la temperatura de escape se encontrara por debajo de  $940^{\circ}\text{C}$ , se debe realizar una modificación del valor de  $\Lambda$ . Si la temperatura de escape no está entorno a los valores comentados anteriormente, significa que la combustión del motor se está realizando en condiciones de dosado rico, es decir, exceso de combustible, que reduce la temperatura en el escape aumentando el consumo de combustible. Por ello, el último paso sería empobrecer la mezcla aire-combustible acercando el valor de  $\Lambda$  a 1, donde se realizaría combustión con dosado estequiométrico y se reduciría el consumo de combustible del motor, aumentando así su rendimiento.

### 5.3.2 Límites de funcionamiento del motor.

Los límites están impuestos por el fabricante y tienen como objetivo la protección de los componentes y materiales del motor y garantizar que no exista pérdida de rendimiento en el funcionamiento de este.

Los límites del motor a tener en cuenta en este tipo de ensayos son la presión en la cámara de combustión, el régimen del turbogrupo, el knocking y diferentes temperaturas y presiones del sistema de escape y de sobrealimentación.

### 5.3.2.1 Límite de presión de cilindro y Knocking.

El límite de la presión de la cámara de combustión es importante ya que, en caso de superarse, compromete la integridad de componentes del motor de difícil acceso como pueden ser la culata, los pistones o las bielas.

Como se ha explicado en el capítulo anterior, la medida de la presión de la cámara de combustión se obtiene gracias a sensores de presión instalados en las bujías, y se analiza mediante un sistema de adquisición externo en alta frecuencia basado en LABVIEW.

El Knocking es un fenómeno común en los motores de encendido provocado que se produce por el autoencendido de la mezcla de aire-combustible en la cámara de combustión. Este fenómeno es detectable gracias a la diferencia de presión en la cámara de combustión que se aprecia comparando ciclos donde aparece y ciclos normales. Por ello, se realiza el cálculo de una variable conocida como MAPO con los datos obtenidos en LABVIEW la cual, cuando supera un valor estimado y dependiente de diversos factores, indica la presencia del fenómeno.

El MAPO (Maximum Amplitude Pressure Oscillation), es una es una variable obtenida informáticamente a partir de la máxima amplitud de la señal de presión de cilindro tras aplicar un filtro a dicha señal. Dada la diferencia de presión que provoca el fenómeno del knocking, observando el valor obtenido del MAPO en ese ciclo, se puede determinar la existencia o no de dicho fenómeno.

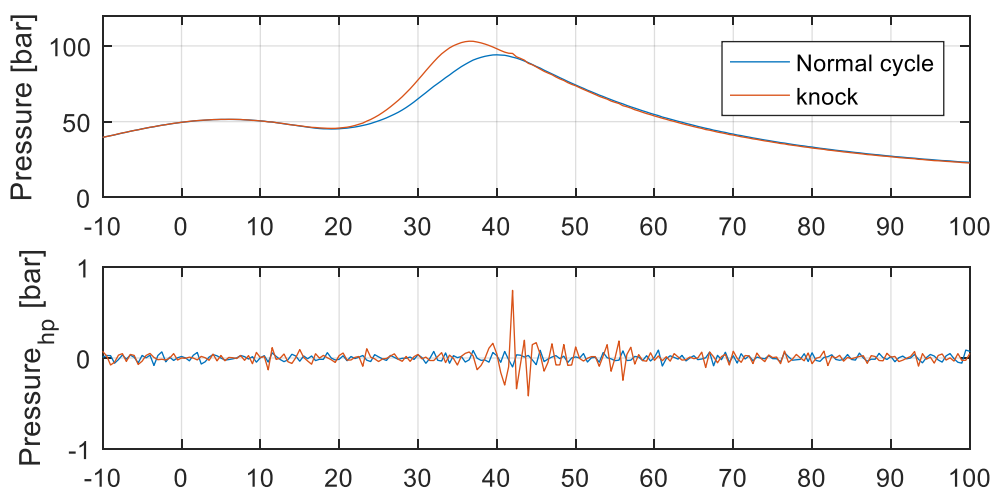


Figura 5.3: Comparación de ciclos con y sin la aparición de knocking.

### 5.3.2.2 Otros límites.

Además de la presión de cilindros y MAPO, durante los ensayos de plena carga se deben tener en cuenta los límites de presión y temperatura de escape, presión de sobrealimentación y régimen de giro del turbogrupo.

Todos los límites a tener en cuenta en la realización de los ensayos son dependientes entre sí y varían de diferente manera según se modifiquen los parámetros vistos anteriormente, lo que provoca que necesiten de una atención constante durante la realización de los estudios.

Prestar atención al cumplimiento de todos los límites de presión y temperatura durante la realización de los ensayos es una tarea complicada, y más si se tiene en cuenta el procedimiento de realización de estos donde también se deben controlar parámetros del funcionamiento interno del motor. Por ello, se utiliza una herramienta del programa informático PUMA mediante la cual se tiene la capacidad de introducir límites en las medidas de temperaturas y presiones, ya que estas se registran y visualizan en este sistema. En la configuración del sistema informático, es posible seleccionar las medidas a controlar, e introducir valores de aviso y valores límite. En caso de que la medida de esa señal superara el valor de aviso, el programa envía una alerta para que el usuario sea consciente de lo cerca que se encuentra del límite de funcionamiento. En caso de que esa temperatura o presión no baje por debajo del límite de alerta en los siguientes 3 minutos, o aumente hasta alcanzar el valor límite, el sistema cambia el punto de funcionamiento del motor y lo fija en ralentí automáticamente. En ese momento, si la alerta continua, porque por ejemplo no se ha reducido la temperatura por debajo del límite, fuerza el paro del motor cortando la inyección de combustible y la alimentación eléctrica.

Channel	Upper alarm	Upper warning	Actual	Lower warning	Lower alarm	Unit	Upper reaction	Lower reaction	Limit group	Trigger quantity
SPEED	8000	7600	0	0	0	rpm	Cold run	Stop	GW/A	-
T_SHAFT	700.0	650.0	-0.8	-450.0	-500.0	Nm	Cold run	Stop	GW/A	-
SPEED	6300	5800	0	0	0	rpm	Cold run	Cold run	General Limits	-
P_OIL_GAL	7.000	6.000	1.000	2.000	1.800	bar	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_COOLAN...	110.00	100.00	24.20	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_OIL_GAL	150.00	130.00	24.68	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
TORQUE	310.0	300.0	-2.1	0.0	0.0	Nm	Cold run	Cold run	General Limits	-
N_TURBO	230000.00	220000.00	244.46	0.00	0.00	rpm	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_COMP_O...	180.00	168.00	24.14	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_IN_MANI...	50.00	40.00	1.000	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_TURBIN...	970.000	945.000	22.920	0.000	0.000	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_TURBIN...	920.00	890.00	23.82	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_DPF_IN	1000.00	990.00	24.19	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
T_DPF_OUT	950.00	900.00	23.78	0.00	0.00	°C	Cold run	Cold run	General Limits	-
P_COMP_O...	2.700	2.550	1.005	0.000	0.000	bar	Cold run	Cold run	General Limits	-
P_IN_MANI...	2.700	2.550	-1.249	0.000	0.000	bar	Cold run	Cold run	General Limits	-
P_EXH_MANI	3.400	3.100	1.002	0.000	0.000	bar	Cold run	Cold run	General Limits	-

Figura 5.4: Pantalla de control de límites.

A pesar de que exista este sistema de seguridad durante la realización de cada ensayo, siempre se comprueban los límites de presión y temperatura, quedando la utilidad de este en subsanar un fallo humano.

En cuanto al límite restante, la velocidad de giro del turbogrupo también está añadida en el sistema de control de límites del PUMA, sin embargo, dada la peligrosidad que conlleva el entrar en sobre-régimen para el sistema de sobrealimentación en concreto, y siendo este el objeto de estudio del proyecto, esta medida se controla constantemente durante la realización de los ensayos ya que en el procedimiento de estos uno de los parámetros que se modifican es la apertura de la válvula wastegate o la actuación de la geometría variable del estátor de la turbina, lo que afecta directamente al régimen de giro del turbogrupo.

### 5.3.3 Análisis de resultados.

Se obtuvieron datos de plenas cargas en los regímenes comentados anteriormente con ambos sistemas de sobrealimentación. Cabe destacar que tras tomar el control de diversos parámetros de la ECU y realizar las plenas cargas, en la mayoría de los puntos estudiados se superaron las expectativas de respuesta en forma de par motor propuestas por el fabricante de manera ligera en cuanto al primer sistema de sobrealimentación, y más holgadamente respecto al sistema de sobre alimentación con turbina de geometría variable. Esta mejora surge a raíz del control manual del punto de funcionamiento. Durante el funcionamiento normal del motor, este siempre se encuentra oscilando entre los valores que componen los mapas presentes en la ECU como se vio en el capítulo 4, por tanto, cuando se controlan dichos valores manualmente y se fijan en números concretos, se obtiene un funcionamiento más estable, lo que, permite acercarse más y de una manera más suave a los límites establecidos.

#### 5.3.3.1 Influencia en el par motor.

En primer lugar, respecto a los ensayos en régimen de plena carga con el sistema de sobrealimentación base, se puede ver que el motor, que había sido configurado previamente a la realización de los estudios por una empresa externa, cumple con las expectativas marcadas por el fabricante, alcanzando un par máximo de 270 Nm.

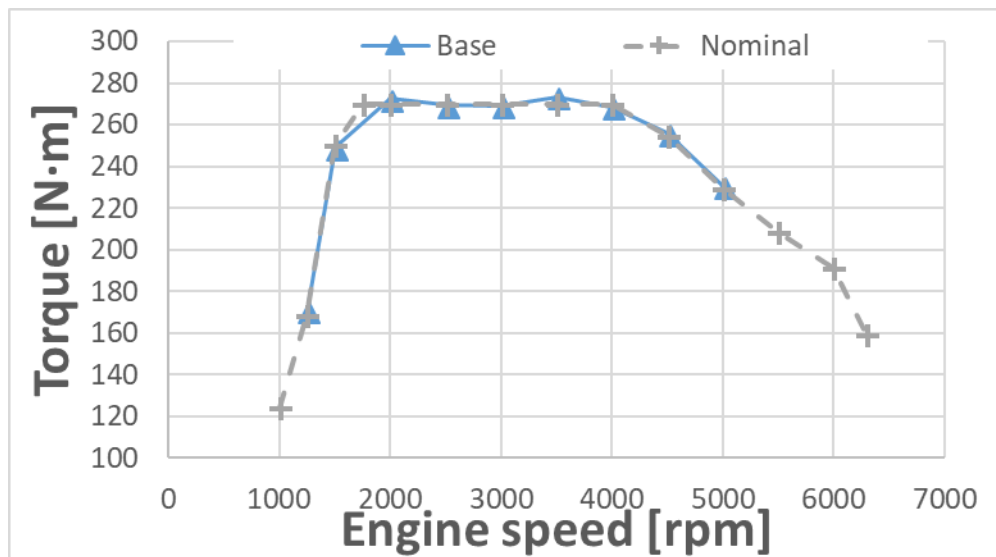


Figura 5.5: Comparación del par motor máximo obtenido con el sistema de sobrealimentación base (wastegate) y las previsiones del fabricante.

En segundo lugar, respecto a las plenas cargas con el sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable, en la figura 5.6 se observa una mejoría substancial sobre todo en regímenes bajos y medios con respecto al sistema de sobrealimentación base (Wastegate). El segundo sistema de sobrealimentación introduce mejoras en el par de más de 10 Nm en comparación al primero, pero llega a perder hasta 7 Nm en regímenes de entorno a las 5000 RPM.

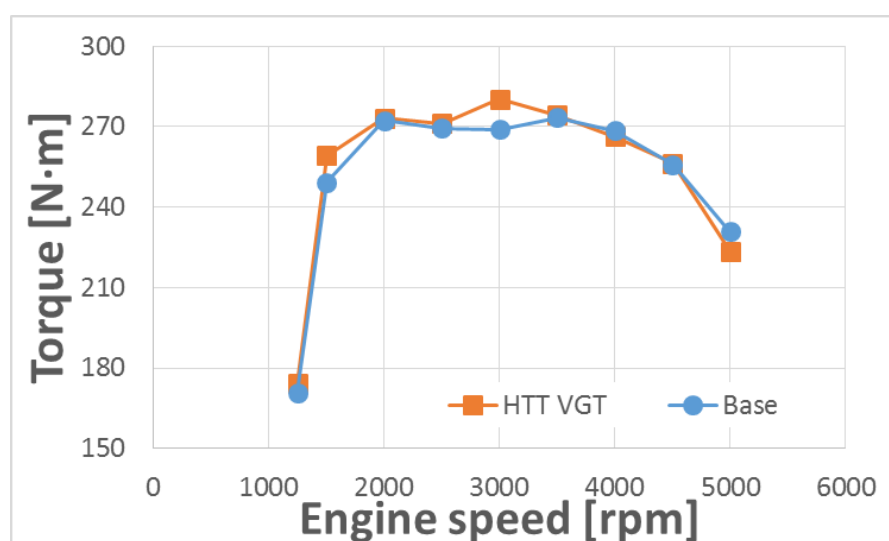


Figura 5.6: Comparación del par motor máximo con ambos sistemas de sobrealimentación. (Wastegate y TGV)

Cabe destacar que cuando el motor gira a 5000 rpm, este alcanza un menor valor de par cuando cuenta con el sistema de sobrealimentación TGV. Esto es debido a que, cuando el motor gira a altas revoluciones, el flujo másico de aire que pasa por la turbina se aumenta la velocidad de giro del turbocompresor y esta llega al límite de RPM del turbogrupo antes de poder extraer la energía necesaria de los gases de escape para llegar al par objetivo, incluso sin ningún grado de actuación sobre los gases de escape por parte de la geometría variable de la turbina.

Dado este problema, se puede justificar la diferencia negativa de par que se puede observar en la figura 5.7.

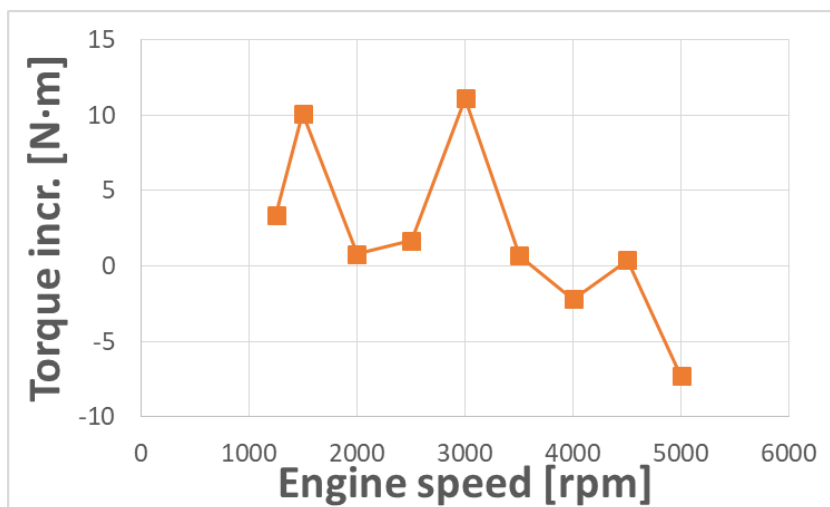


Figura 5.7: Valor de la diferencia de par motor con cada uno de los sistemas de sobrealimentación.

#### 5.3.3.2 Influencia en el consumo específico efectivo.

El consumo específico efectivo es un parámetro de consumo de combustible que tiene aplicación en estudios de motores de combustión interna alternativos. Este parámetro indica el consumo de combustible en relación a la potencia obtenida del motor, y se calcula a partir de dichos datos obtenidos en los ensayos realizados del motor con la siguiente fórmula.

$$g_e = \frac{m_f}{N_e}$$

Siendo:

- $g_e$ : Consumo específico efectivo expresado en gramos por kilovatio y hora.
- $m_f$ : Gasto másico de combustible expresado en gramos por hora.
- $N_e$ : Potencia específica en kilovatios.

De esta forma, se puede observar en la figura 5.8 los valores de consumos específicos efectivos del motor funcionando con cada uno de los sistemas de sobrealimentación de este trabajo.

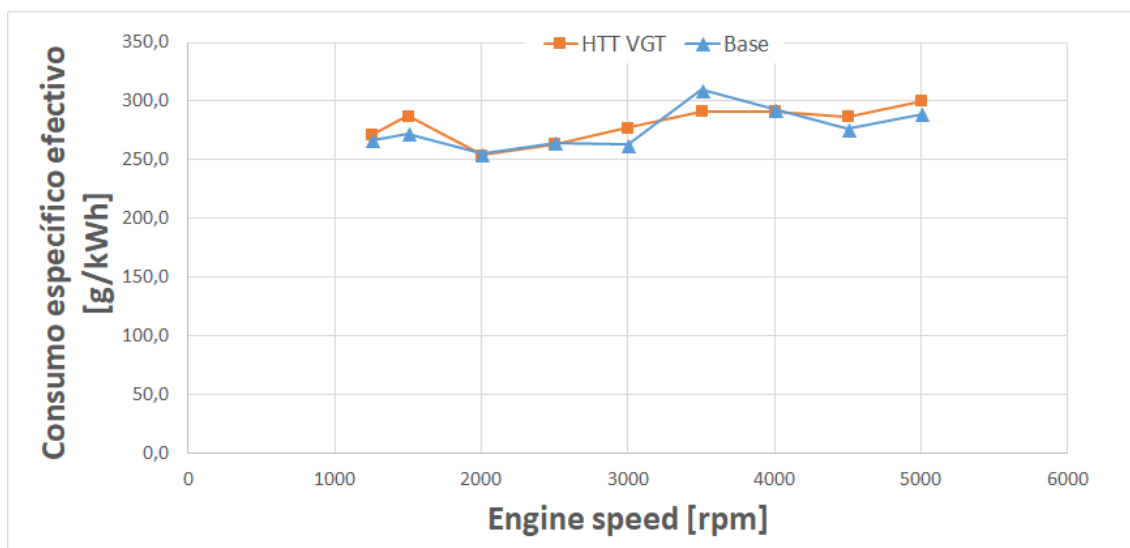


Figura 5.8: Consumo específico efectivo del motor con cada sistema de sobrealimentación.

El consumo específico efectivo está directamente relacionado con el rendimiento específico, por ello, y como se puede observar en la figura XX, el sistema de sobrealimentación base (wastegate), tan solo mejora el sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable (TGV) cuando el motor gira a 3500 rpm. En general, cuando el motor cuenta con el segundo sistema de sobrealimentación, este mejora el consumo respecto a cuando cuenta con el base en valores de hasta el 5% cuando se encuentra a plena carga girando a 1500 y 3000 rpm.

Estas dos mejoras se ven reflejadas en la figura XX, donde se aprecia que el motor alcanza más de 10 Nm cuando cuenta con el sistema de sobrealimentación TGV que cuando cuenta con el base.

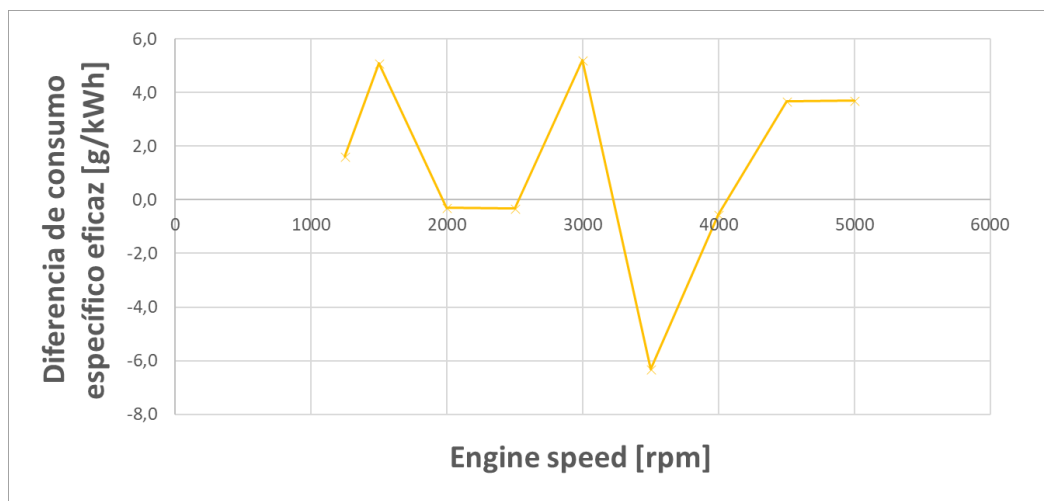


Figura 5.9: Valor de la diferencia del consumo específico eficaz con cada uno de los sistemas de sobrealimentación.

Aun así, se puede observar en la figura 5.9 que, en los regímenes de 2000, 2500 y, sobre todo 3500 rpm, el sistema de sobrealimentación TGV no es capaz de mejorar al sistema de sobrealimentación base, lo que podría significar que existe un rango de optimización disponible que no se ha alcanzado en los estudios realizados hasta el momento ya que, cabe recordar, que este trabajo tan solo es una parte de un mayor proyecto.

#### 5.3.3.3 Influencia en la presión y temperatura a la salida del turbogrupo.

Las presiones y temperaturas de escape se ven muy afectadas por los parámetros que se controlan en la realización de los ensayos. Así mismo, juegan un papel muy importante en cuanto al rendimiento del sistema y, por tanto, también en cuanto a las prestaciones que se obtienen de estos turbogrupos.

Como se ha visto anteriormente, con el sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable, el motor es capaz de ofrecer en algunos puntos un par mayor que con el sistema de sobrealimentación base, que cuenta con un sistema de válvula wastegate, por el aprovechamiento de la energía de los gases de escape a la entrada de la turbina que es capaz de realizar el primer sistema de sobrealimentación.



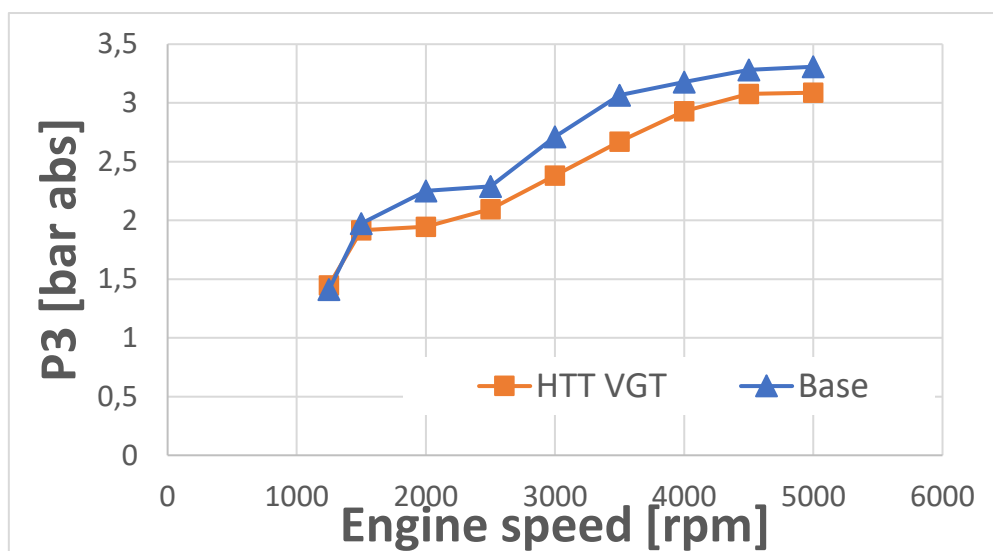


Figura 5.10: Comparativa presiones de escape del motor cuando este funciona con cada uno de los sistemas de sobrealimentación.

Como se puede apreciar en la figura 5.10, existe una diferencia clara en la presión de escape entre los dos sistemas. Esto se debe a la eficiencia del sistema de sobrealimentación de geometría variable que, una vez situado el punto de ensayo estacionario, es capaz de ser configurado, obteniendo mayor energía para la compresión y necesitando de esta forma menos presión en el escape, equivalente a menos energía, para llegar al mismo par que el sistema de sobrealimentación con válvula wastegate.

Respecto a la temperatura de los gases de escape en la turbina, esta no debería variar ya que todos los puntos han estado configurados cerca del límite de 950°C que se impuso para la temperatura del colector de escape. Sin embargo, aparecen pequeñas diferencias producidas por el control de la temperatura de admisión. La temperatura del aire en la salida del intercambiador de calor agua-aire que actúa de radiador del coche, está controlada mediante un PID que acciona las válvulas que controlan el paso de agua por este, regulando así la temperatura del aire. Debido a este control y al estar en alta carga con mucho flujo de aire, se producen oscilaciones de temperatura que pueden hacer variar la media de temperatura tomada en los ensayos, obteniendo así las diferencias que se pueden apreciar en la figura 5.11.

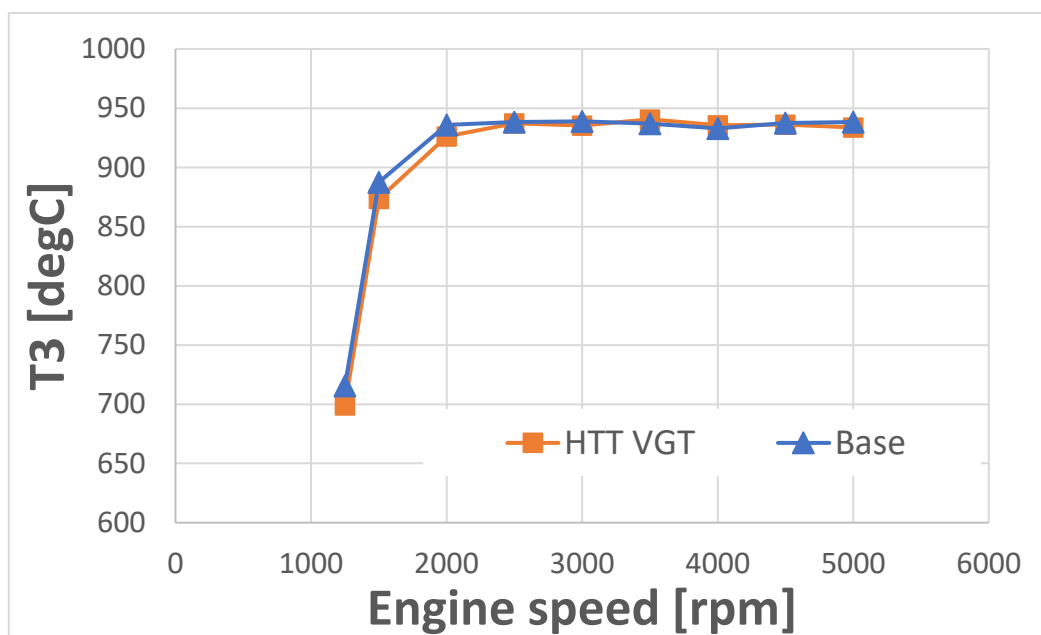


Figura 5.11: Comparativa de temperaturas en el colector de escape.

#### 5.3.3.4 Influencia en otros parámetros.

Un parámetro directamente relacionado con la temperatura de escape es el valor de Lambda. Este valor cuantifica la relación aire-combustible de la mezcla que entra hacia el cilindro. Los motores de encendido provocado se calibran para funcionar siempre con Lambda igual a 1, lo que significa que funcionan en condiciones de dosado estequiométrico. Cuando se produce la combustión de una mezcla estequiométrica, la temperatura de dicha combustión alcanza valores muy altos, lo que provoca un aumento de temperatura del escape. En busca de mantener la temperatura de los gases de escape dentro de los límites de funcionamiento del motor, se aumenta la cantidad de combustible inyectado, modificando así la relación aire-combustible en dirección al dosado rico y provocando que se reduzca la temperatura de la combustión, ya que esta ya no se realiza en condiciones de dosado estequiométrico. Para llevar al motor hacia estas condiciones, y como se puede observar en la figura 5.12, el valor de Lambda se reduce desde valores cercanos a 1 en regímenes bajos, hasta valores de 0.85 en regímenes altos.

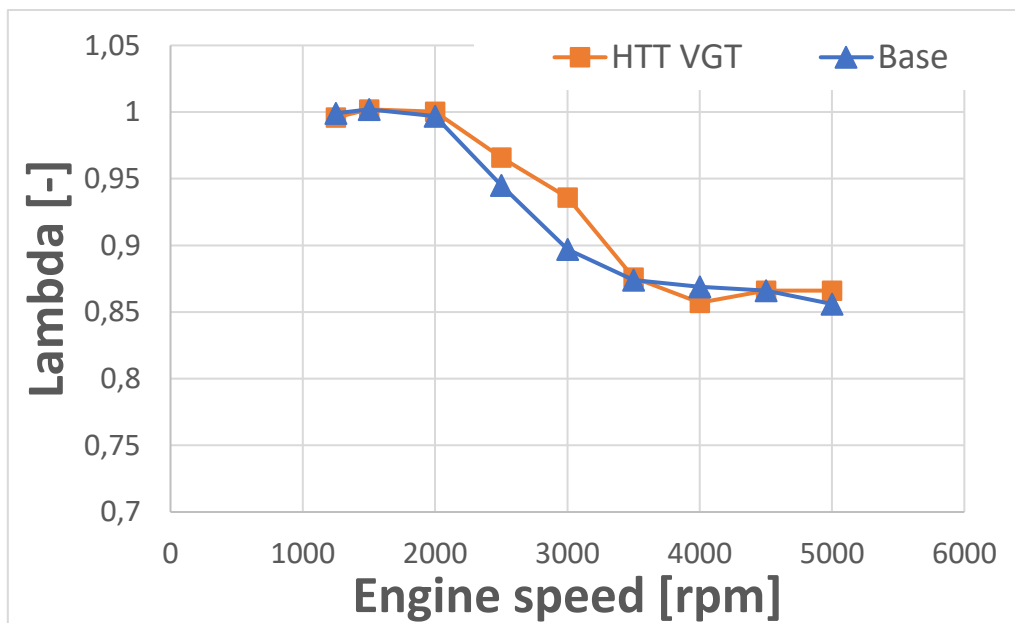


Figura 5.12: Comparación del valor de Lambda.

Si se compara el valor de Lambda con ambos sistemas de sobrealimentación, se puede observar una diferencia notable en regímenes medios. Esta diferencia es debido a que, con el sistema de sobrealimentación de geometría variable, se necesita menos actuación del sistema de sobrealimentación para llegar al par deseado, lo que provoca que se alcance el equilibrio entre un alto par, y una temperatura de escape cercana al límite con menor necesidad de enriquecer la mezcla de aire-combustible.

Otro parámetro que afecta a la temperatura de escape es el avance del encendido de bujías. Como se ha visto en el apartado 5.3.1.2, si se adelanta dicho encendido se obtiene una combustión más eficiente, pero se aumenta el riesgo de knocking. Sin embargo, además de lo anterior, también se debe tener en cuenta que el retraso del encendido significa que la combustión se produce más tarde, lo que provoca que los gases producidos en la combustión lleguen al escape más caliente, aumentando la temperatura de esta parte del motor. Si se analiza la figura 5.13, se puede observar que, a 3000 RPM con el sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable, se consiguió estabilizar el motor con el encendido de bujías significativamente avanzado en comparación al punto con el sistema de sobrealimentación base. Esto provocó una reducción de la temperatura de escape, que fue aprovechada para aumentar el valor de lambda, como se puede ver en la figura 5.12, provocando que las condiciones en las que se produjo la combustión fueran más parecidas a las condiciones de dosado estequiométrico, generando de esta forma el mismo par, una combustión más eficiente y reduciendo considerablemente el consumo de combustible.

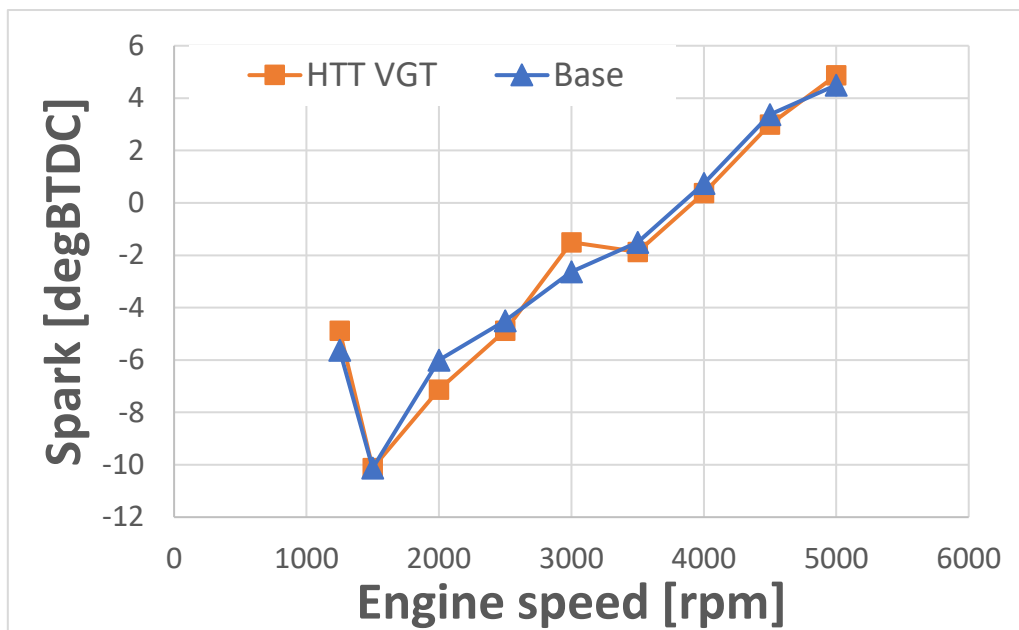


Figura 5.13: Comparación del valor del avance de encendido de bujías.

## 5.4 Ensayos dinámicos.

El segundo bloque de ensayos propuestos por el fabricante consta de una serie de ensayos dinámicos, conocidos como “Tipins”, donde se analiza el comportamiento del motor en regímenes transitorios. Además, estos ensayos permiten estudiar la adaptación de los diversos sistemas de sobrealimentación utilizados en el proyecto, y el comportamiento del conjunto.

En ellos, se parte de un punto inicial de baja carga a un régimen de giro constante, con las temperaturas de todos los fluidos del motor estabilizadas y se cambia el punto de operación a un punto de muy alta carga y régimen constante en un período de tiempo de 0.1 segundos. Así se analiza la respuesta del motor frente a una demanda repentina de par en diferentes regímenes de giro. Esta operación se repite 7 veces durante cada ensayo, y entre repeticiones es necesario que las temperaturas se estabilicen en el punto inicial, para que las condiciones iniciales de todas las repeticiones sean similares.

Es interesante estudiar la respuesta del motor ante una demanda repentina de par, ya que es el sistema de sobrealimentación el que condiciona la velocidad de respuesta del motor. Existe un fenómeno que se conoce comúnmente como “turbogrupo lag” y es una característica importante del funcionamiento de los motores sobrealimentados con turbocompresores. Dado que el sistema de sobrealimentación necesita la energía de los gases de escape para ser capaz de comprimir el aire en la

admisión, cuando se realiza un cambio repentino en la demanda de carga, existen unos segundos donde el sistema de sobrealimentación no es capaz de responder a dicha demanda. Es por este fenómeno entre otros que se han evaluado en este proyecto dos tecnologías diferentes de turbogrupo para diagnosticar su comportamiento.

### 5.4.1 Metodología de ensayo

#### 5.4.1.1 Control de los ensayos dinámicos.

Para la realización de los ensayos dinámicos se usa, al igual que para los ensayos estacionarios, el programa informático PUMA. En él se puede encontrar el modo automático que, después de registrar una serie de tareas secuenciales, permite reproducirlos de manera continua y cíclica, con lo que se pueden efectuar desde transitorios de carga hasta ciclos de homologación enteros.

En el caso del presente proyecto, el fabricante solicitó los siguientes ensayos:

<u>PUNTO INICIAL</u>		<u>PUNTO FINAL</u>	
<b>RÉGIMEN</b>	<b>PAR</b>	<b>RÉGIMEN</b>	<b>PAR</b>
RPM	Nm	RPM	Nm
1000	21	1000	110
1250	21	1250	145
1500	21	1500	165
1750	21	1750	200
2000	21	2000	200
2500	21	2500	200
3000	21	3000	200

Figura 5.14: Cuadro de puntos de ensayo dinámicos.

Para tener la capacidad de realizar dichos ensayos de manera automática, se registran en el modo automático los siguientes parámetros:

- Modo de control: Como se ha visto anteriormente, el programa informático PUMA necesita dos parámetros para realizar el control del punto de funcionamiento del motor. Según la combinación de puntos que se use, se reconocen como diferentes modos de control. En este caso se utiliza el modo

compuesto por el control del régimen de giro y la posición de la mariposa de aceleración.

- Régimen de giro: El primero de los parámetros de control del punto de funcionamiento es el régimen de giro del motor, por lo que hay que registrar el valor deseado en RPM.
- Posición de la mariposa de aceleración: El segundo de los parámetros de control del punto de funcionamiento es el acelerador en porcentaje de actuación. Hay que indicar el porcentaje para el punto deseado.
- Tiempo: Tiempo total que debe durar el punto de funcionamiento marcado.
- Rampa del transitorio: Tiempo total que debe durar la transición entre puntos de funcionamiento.

De esta forma, se configura el modo automático para realizar las 7 repeticiones del transitorio para cada régimen, obteniendo la gráfica de la figura 5.15. Cabe destacar que, antes de configurar el modo automático, se realizaron ensayos estacionarios en busca de obtener los valores de acelerador requeridos para cada punto según el par demandado y de cara a observar que el funcionamiento del motor era correcto en dichas situaciones, a pesar de que no se traten de puntos de alta carga cerca del límite.

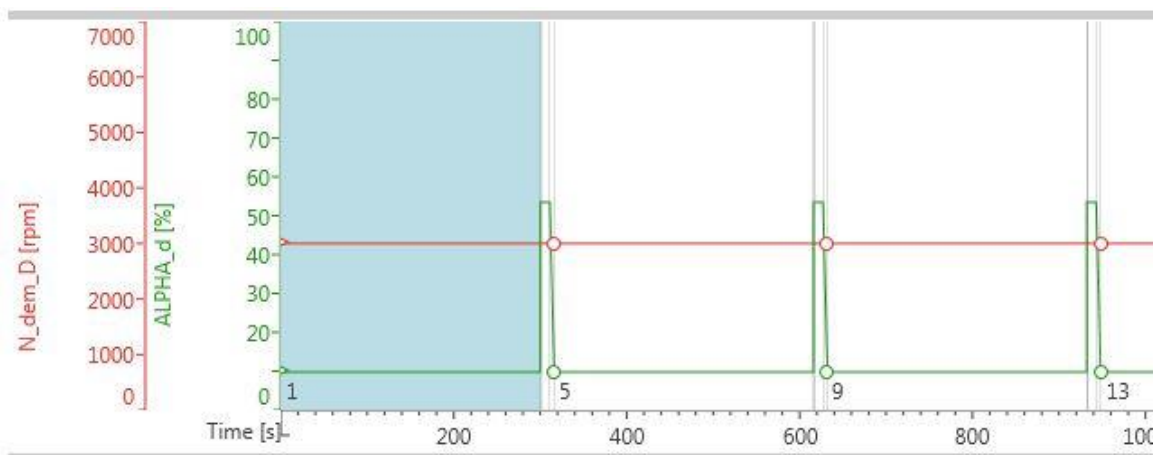


Figura 5.15: Extracto de la gráfica de funcionamiento del modo automático a 3000 RPM.

Para el control de los ensayos con el sistema de sobrealimentación con TGV, además del control del motor, se necesitó realizar un sistema de control para la actuación sobre la turbina de geometría variable ya que, al no ser el sistema de sobrealimentación original del motor, la ECU no contaba con la configuración necesaria.

Para ello, se realizó un programa en base LABVIEW que fue configurado para actuar sobre la turbina tanto de manera automática como manualmente.

Para la actuación automática, se creó un mapa de presiones de admisión que se introdujo en el programa informático para que este pudiera leerlo cuando el motor estuviera en funcionamiento. Como el sistema de control externo era capaz de leer las señales de régimen de giro y porcentaje de acelerador, se creó una gráfica de calibración del sistema en la cual se introdujeron los valores de la presión de admisión del motor en cada punto de funcionamiento desde 10% hasta 55% de acelerador con intervalos de 5% para todos los regímenes demandados por el fabricante. De esta forma quedó el mapa que se puede observar en la figura 5.16.

Bar	RPM						
	1000	1250	1500	1750	2000	2500	3000
<b>10</b>	0,275	0,310	0,354	0,400	0,376	0,401	0,463
<b>15</b>	0,453	0,520	0,612	0,680	0,665	0,660	0,652
<b>20</b>	0,715	0,754	0,783	0,846	0,844	0,832	0,839
<b>25</b>	0,770	0,845	0,904	0,996	1,001	0,947	1,017
<b>30</b>	0,824	0,920	1,020	1,204	1,169	1,170	1,180
<b>35</b>	0,877	0,973	1,222	1,415	1,390	1,390	1,380
<b>40</b>	0,933	1,047	1,410	1,660	1,650	1,632	1,630
<b>45</b>	0,970	1,197	1,600	1,940	1,860	1,820	1,870
<b>50</b>	1,050	1,343	1,855	2,195	2,135	2,070	2,170
<b>55</b>	-	1,480	1,980	2,310	2,280	2,200	2,250

Figura 5.16: Mapa de presión de admisión para el control de la TGV

Por último, antes de comenzar estos ensayos dinámicos, el fabricante dio indicaciones concretas para modificar los mapas del sistema de distribución variable de admisión y escape. En estos mapas, como se ha explicado anteriormente, se recogen valores relativos al momento de apertura de las válvulas de admisión y escape del motor, afectando directamente al flujo de gases que trasiega el motor.

Las indicaciones recibidas consistían en el aplanamiento del mapa desde los valores de la distribución variable en el punto de alta carga del transitorio, es decir, se modificaron los valores del mapa de admisión y escape para cada columna de la tabla, correspondiente a cada régimen de giro del motor, y se sustituyeron por un solo valor correspondiente al que correspondía inicialmente al punto de alta carga. En la figura 5.17 se puede apreciar un esquema visual del cambio realizado en el programa informático INCA.

y \ x	1000	1250	1500	y \ x	1000	1250	1500
74.99	0.000	0.000	0.000	74.99	0.000	0.000	0.000
100.00	21.969	22.750	23.539	100.00	21.969	22.750	23.539
125.01	27.180	32.297	34.047	125.01	▲ 37.000	▲ 35.000	▲ 30.000
150.02	31.516	35.984	38.000	150.02	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
174.98	35.633	38.000	40.000	174.98	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
199.99	35.742	40.000	40.000	199.99	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
225.00	35.000	40.000	40.000	225.00	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
250.01	35.000	40.000	40.000	250.01	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
299.99	35.000	40.000	40.000	299.99	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
350.01	36.000	36.125	32.094	350.01	▲ 37.000	▼ 35.000	▼ 30.000
399.99	37.000	35.000	28.336	399.99	37.000	35.000	▲ 30.000
499.98	37.000	35.000	20.813	499.98	37.000	35.000	▲ 30.000
599.98	37.000	35.000	30.000	599.98	37.000	35.000	30.000
699.98	37.000	35.000	30.000	699.98	37.000	35.000	30.000
800.02	37.000	35.000	30.000	800.02	37.000	35.000	30.000
900.02	37.000	35.000	30.000	900.02	37.000	35.000	30.000

Figura 5.17: Extracto de los mapas del sistema de distribución antes y después de ser modificados para los ensayos dinámicos.

#### 5.4.1.2 Procedimiento de ensayo y parámetros influyentes.

El procedimiento para estos ensayos dinámicos es simple y de larga duración. Aproximadamente, se tardan 40 minutos en realizar tan solo un ensayo dinámico para un régimen de giro del motor.

Para el primer sistema de sobrealimentación, una vez se ha realizado el período de calentamiento, el motor está estable y se tienen configurados tanto la distribución variable como los sistemas de adquisición de datos, tan solo hay que iniciar el modo automático y comenzar la adquisición de datos para cada régimen. De esta forma, se crean archivos de datos en los que se puede observar tanto el cambio de demanda de carga y la respuesta del motor, como la estabilización de las temperaturas de escape tanto de colector como del filtro de partículas.

Respecto al segundo sistema de sobrealimentación, el procedimiento es un tanto más complejo. De la misma forma que en los ensayos anteriores, previamente han de configurarse los sistemas de adquisición de datos y la distribución variable, sin embargo, ahora ha de tenerse en cuenta también el actuador externo de la turbina de geometría variable.

En este actuador basado en LABVIEW, se ha introducido un controlador proporcional integral (PI) combinado con una acción de ganancia variable que, calibrado con la tabla de presiones de admisión, actúa sobre la posición de la TGV según sea el régimen de giro y pedal de acelerador. Como es lógico, cada régimen tiene un par objetivo diferente, y cada par diferente conlleva una variación en el punto de funcionamiento en alta carga y, por tanto, en el transitorio hasta dicho punto, por tanto



el sistema no actúa igual con cada régimen. Para la realización de estos ensayos, el sistema fue calibrado variando las constantes de actuación del controlador PI y, sobre todo, la ganancia variable, con el objetivo de disponer de diversidad de configuraciones y, con ello, diversidad de resultados que pueden ser óptimos o no en función de la situación en la que se encuentre el motor.

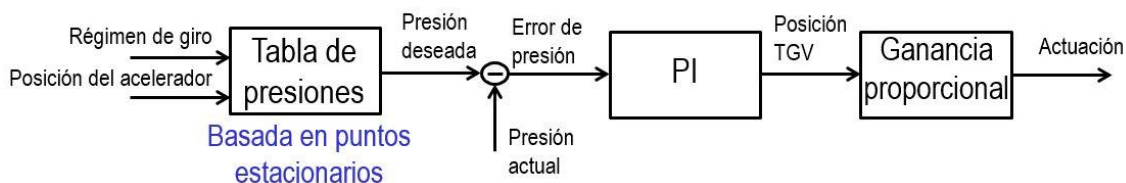


Figura 5.18: Diagrama de bloques de la actuación de la TGV.

## 5.4.2 Análisis de resultados.

### 5.4.2.1 Comparación de la respuesta de par entre sistemas de sobrealimentación.

El último objetivo de los ensayos es realizar una comparación de la respuesta del motor ante un transitorio de carga con los diferentes sistemas de sobrealimentación.

Como se ha visto anteriormente, estos ensayos consisten en un cambio repentino de la demanda de carga al motor, partiendo desde un punto de baja carga, con el objetivo de llegar a un par determinado en el menor tiempo posible. Este ensayo se realiza para los regímenes deseados por el fabricante ya que el motor responde de manera muy diferente a los transitorios repentinos de carga en función a su velocidad de giro.

Los datos de par obtenidos del motor con cada uno de los sistemas de sobrealimentación en los regímenes estipulados por el fabricante son los siguientes:

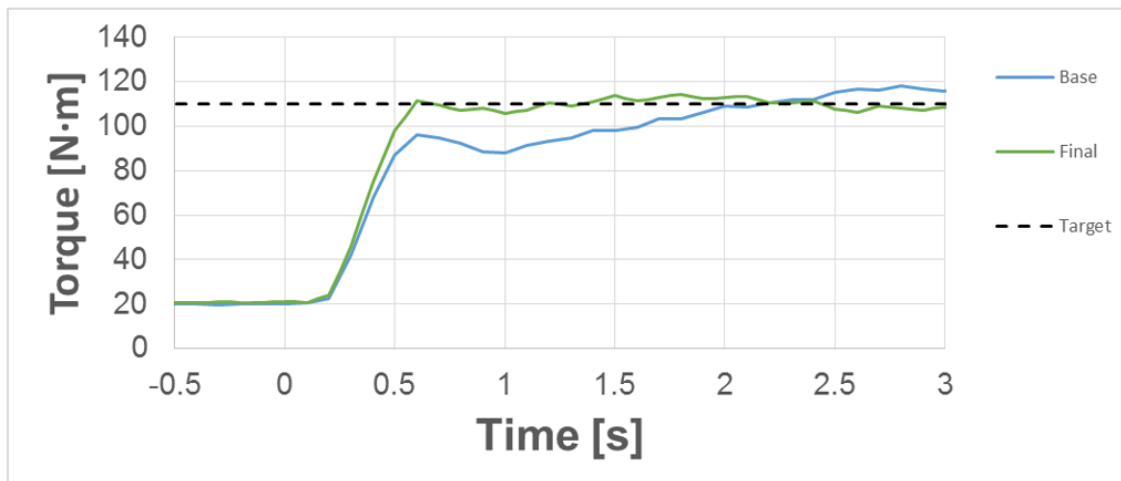


Figura 5.19: Comparación del par motor a 1000 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

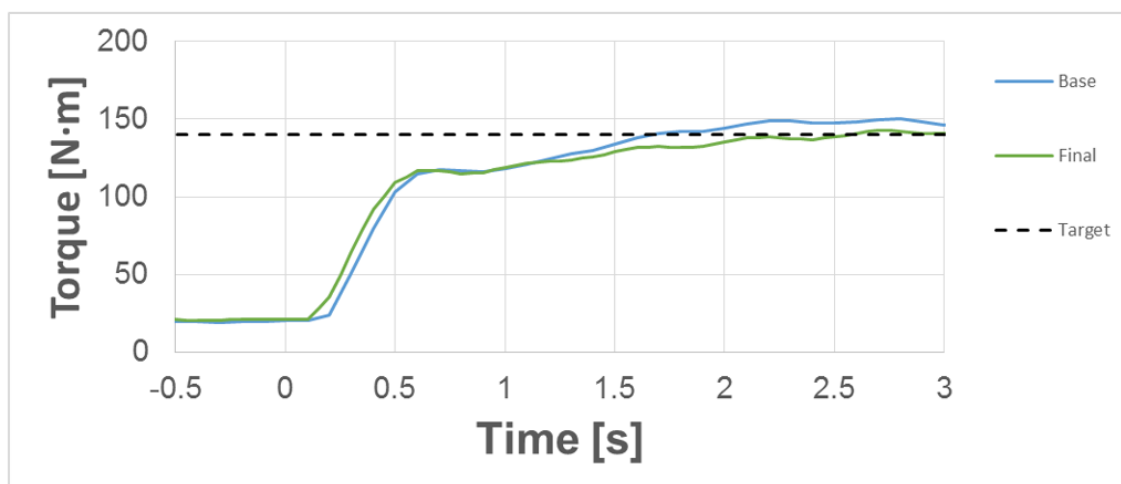


Figura 5.20: Comparación del par motor a 1250 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

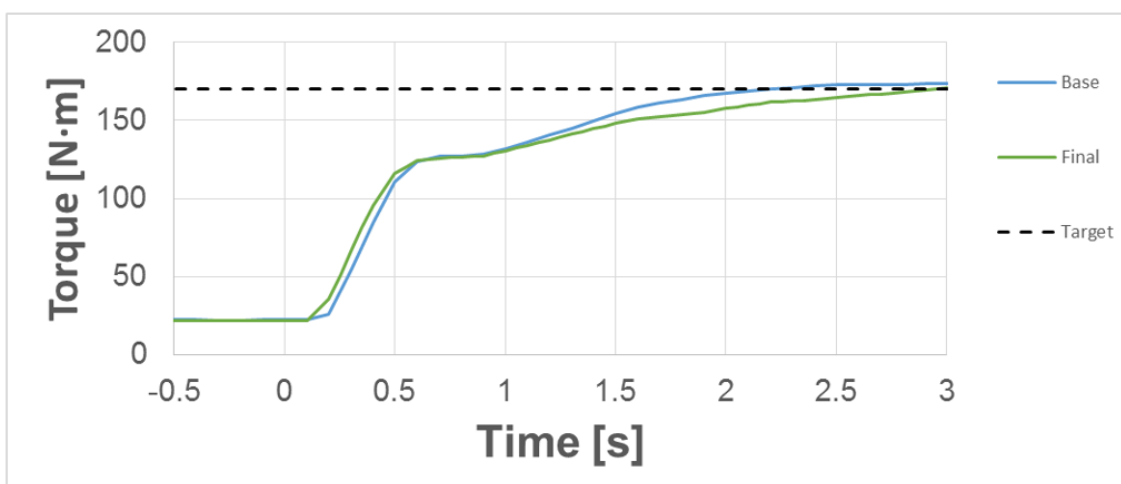


Figura 5.21: Comparación del par motor a 1500 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

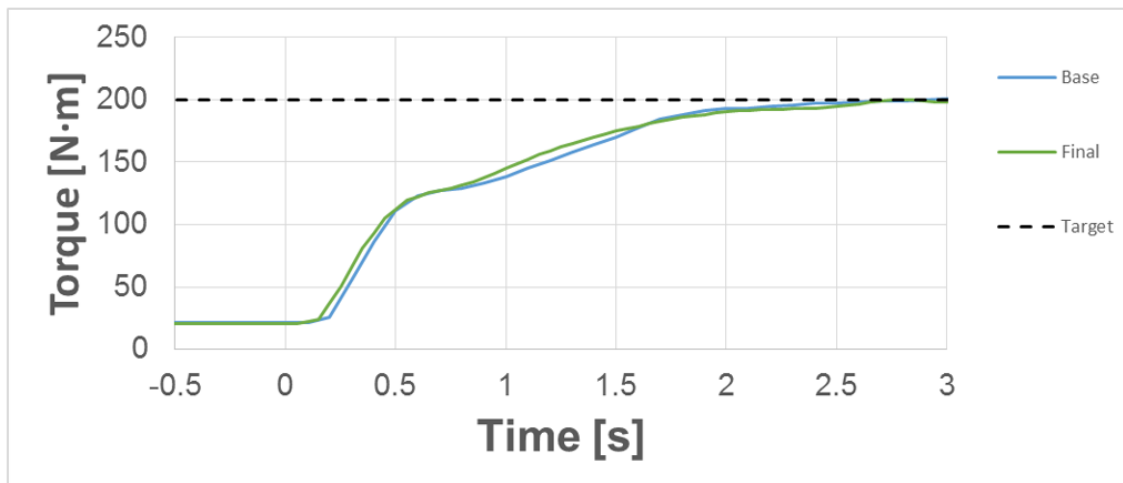


Figura 5.22: Comparación del par motor a 1750 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

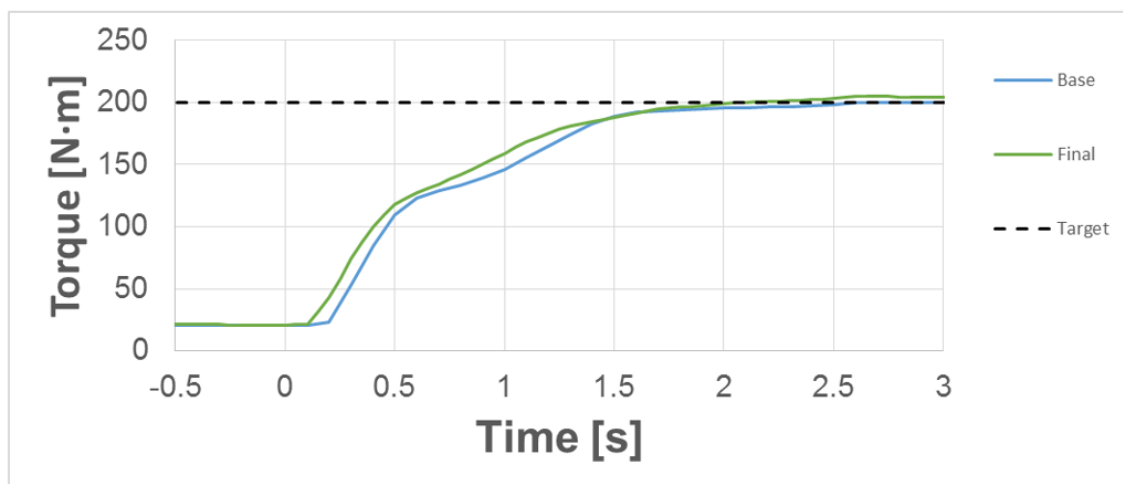


Figura 5.23: Comparación del par motor a 2000 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

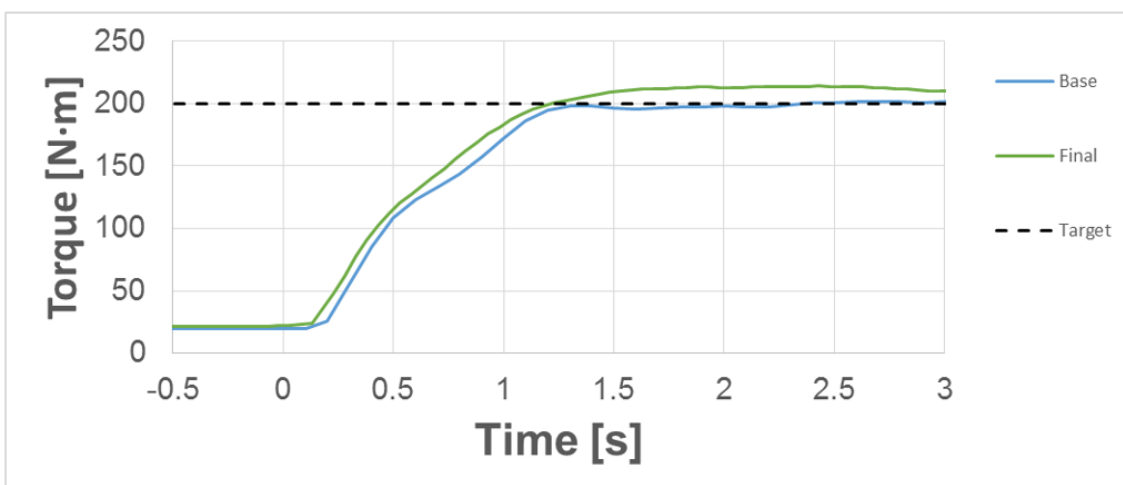


Figura 5.24: Comparación del par motor a 2500 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

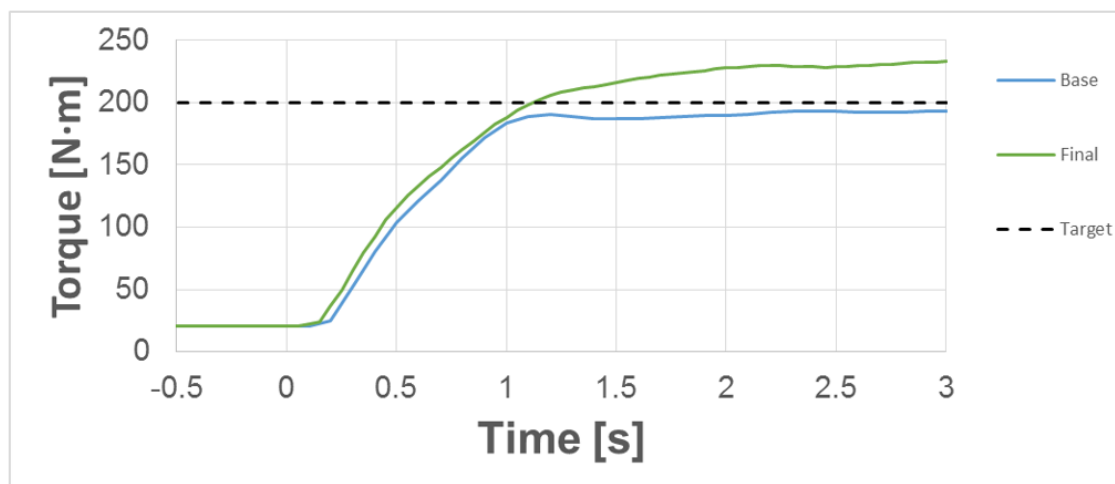


Figura 5.25: Comparación del par motor a 3000 RPM con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

Observando las figuras de la evolución del par en el transitorio de carga con el motor girando en los diferentes regímenes, se pueden generalizar tres tipos de sucesos.

En primer lugar, se pueden observar similitudes entre la respuesta de par del motor cuando este gira a 1250 y 1500 rpm en las figuras 5.20 y 5.21. En ambos casos la curva de par tiene dos pendientes muy marcadas provocadas por la actuación de los sistemas de sobrealimentación. En estos casos donde el motor gira a bajas revoluciones por minuto, en el momento que se produce un aumento e la demanda de carga del motor cuando se acelera repentinamente, el control de los sistemas de sobrealimentación tiende a actuar al 100% durante los primeros instantes, es decir, en el caso del turbogrupo base, se cierra completamente la wastegate y, en el caso del turbogrupo TGV, la geometría variable se modifica para que haya la máxima actuación sobre los gases de escape. Ambas acciones duran aproximadamente medio segundo y, posteriormente, el sistema regula de manera más suave para evitar sobrepresiones en el escape.

Volviendo al análisis de la respuesta del motor en los regímenes de 1250 y 1500 rpm, se observa que, cuando el motor cuenta con el sistema de sobrealimentación con TGV, su respuesta en par es peor respecto a cuando este cuenta con el turbogrupo base. En las figuras 5.20 y 5.21 se puede observar que hay una diferencia de casi un segundo en lo que tardan las curvas de respuesta de par motor en alcanzar el par objetivo. Esto puede ser debido a que exista rango de optimización del control de la actuación del sistema de sobrealimentación con TGV.

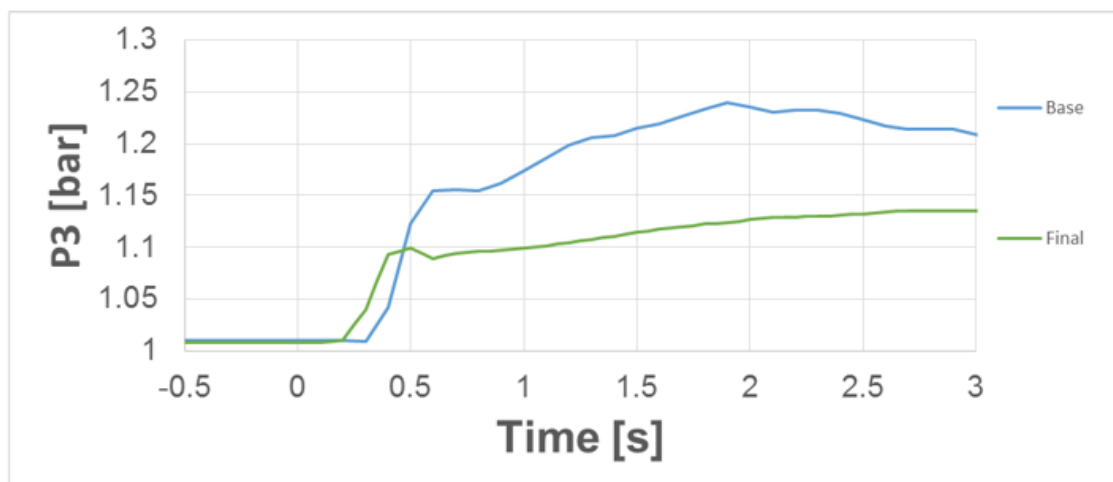


Figura 5.26: Comparación de la evolución de la presión de escape del motor a 1250 rpm con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

Mediante la figura 5.26, donde se observa la evolución de la presión de escape del motor, se puede justificar que el motor con el sistema de sobrealimentación con TGV tarde más tiempo en alcanzar el par objetivo, ya que la presión de escape con este sistema es notablemente baja en comparación a cuando el motor trabaja con el sistema de sobrealimentación base, lo que indica que esta respuesta puede ser mejor si se modifican los parámetros de control.

En segundo lugar, se puede observar que el motor tiene una respuesta igual con ambos sistemas de sobrealimentación cuando gira a 1750 y 2000 rpm en las figuras 5.22 y 5.23. El hecho de que el motor tenga una respuesta en par igual cuando funciona con cada uno de los sistemas de sobrealimentación es algo positivo, ya que significa que, por un lado, el fabricante obtiene la opción de analizar otros parámetros como costes de producción, etc. Para determinar qué sistema de sobrealimentación es más adecuado para el motor, teniendo siempre la seguridad de que ambos tienen los mismos resultados en el motor. Y, por otro lado, significa que la configuración que se ha realizado de la actuación del sistema de sobrealimentación con TGV es, como mínimo, óptima, aunque no signifique que no pueda haber rango de mejora.

En tercer lugar, se pueden agrupar las figuras 5.19, 5.24 y 5.25, correspondientes a las respuestas de par motor con regímenes de giro de 1000, 2500 y 3000 rpm. En los ensayos realizados para estos regímenes, el motor ofrecía una respuesta de par más rápida cuando contaba con el sistema de sobrealimentación TGV. Esto significa que el sistema está optimizado y que provoca rendimientos mayores para el motor en estos puntos de funcionamiento.

Respecto a la respuesta del par motor cuando este gira a 1000 rpm, se puede observar en la figura 5.19 una gran diferencia en el par, al igual que en la figura 5.27, donde también existe una gran diferencia en la presión de escape del motor. En este caso concreto, entra en juego el tamaño de las turbinas de ambos sistemas de sobrealimentación. La turbina del turbogrupo base, tiene un tamaño considerablemente menor a la del turbogrupo TVG. Por esto, y debido al bajo gasto de aire que circula por el motor a bajo régimen de giro y baja carga, en el caso del turbogrupo con wastegate, el sistema cierra dicha válvula provocando que todos los gases de escape pasen por el rotor, aumentando así la presión de escape. En el caso del turbogrupo TGV, para el mismo punto de funcionamiento, el sistema modifica la actuación de los álabes del estator para aprovechar la energía de los gases, sin embargo, como tiene un tamaño considerablemente mayor, la presión de escape no aumenta, provocando así menos pérdidas y mejorando considerablemente la respuesta en este régimen.

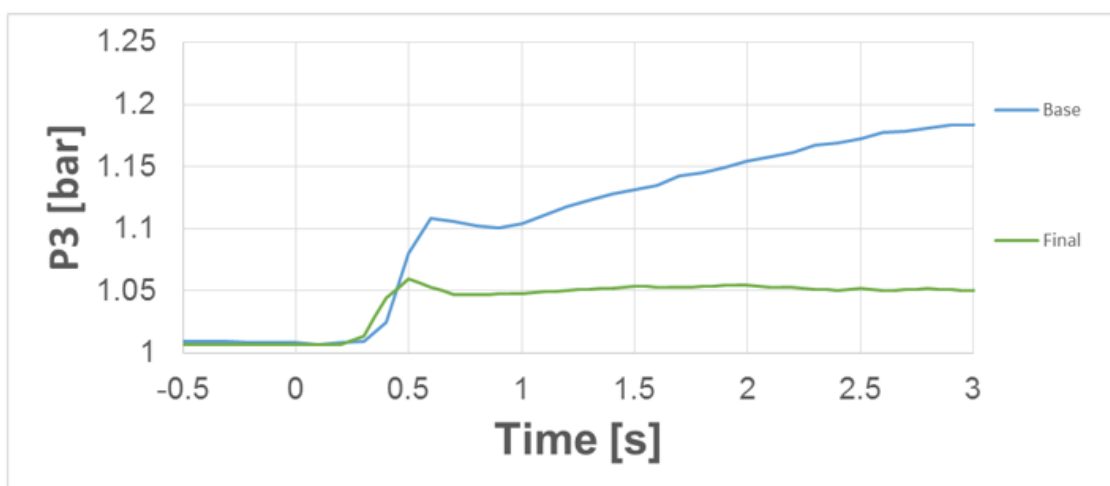


Figura 5.27: Comparación de la evolución de la presión de escape del motor a 1000 rpm con el sistema de sobrealimentación base (Wastegate) y el sistema de sobrealimentación final (TGV).

## Capítulo 6: Conclusiones.





En conclusión, mediante este trabajo se han dado resolución a los objetivos planteados en primer lugar.

Se ha realizado la instalación y puesta en marcha de un motor de encendido provocado en un banco de ensayos completamente funcional y se ha mantenido esa característica a pesar de la realización de modificaciones en algunos de los sistemas del motor por objeto de los estudios a realizar.

Se ha estudiado el comportamiento del motor con un sistema de sobrealimentación con válvula wastegate tanto en ensayos estacionarios donde se exploraron los límites de potencia del sistema, como en ensayos dinámicos donde se estudió el funcionamiento y la calidad de la respuesta obtenida por el motor. Además, se ha estudiado el comportamiento del motor con un sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable después de realizarse la adecuación y las modificaciones necesarias para el correcto funcionamiento de este sistema en el motor. Después, se han realizado ensayos estacionarios donde se exploraron los límites de potencia del motor y ensayos dinámicos donde se estudiaron tanto el funcionamiento como la calidad de la respuesta obtenida por el motor ante una demanda repentina de grado de carga.

Por último, se han realizado estudios comparativos de los datos obtenidos en los ensayos de ambos sistemas para todos los tipos de experimentos realizados caracterizando así las prestaciones que obtiene de ambos sistemas el motor obteniendo las siguientes conclusiones.

Respecto a los ensayos estacionarios en condiciones de plena carga, se ha visto que el motor cuenta con mejores prestaciones en regímenes bajos y medios cuando cuenta con el sistema de sobrealimentación con turbina de geometría variable, sin embargo, también se puede observar que en determinados puntos de funcionamiento hay rango de optimización que queda pendiente para el futuro desarrollo del proyecto.

Respecto a los ensayos dinámicos, también funcionaba mejor el motor cuando contaba con el sistema de sobrealimentación TGV, aunque también existe aún rango de optimización de la actuación de este sistema de sobrealimentación que, a diferencia de los ensayos anteriores, está comprendido en los bajos y medios regímenes de giro.

De esta manera, se forma un camino para que en futuros trabajos se continúe con la optimización de ambos sistemas de sobrealimentación con el objetivo de realizar una comparativa del funcionamiento del motor obteniendo el máximo rendimiento de estos sistemas.



## **DOCUMENTO 2: PRESUPUESTO.**



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>97</b>
<b>2</b>	<b>Desglose del presupuesto. ....</b>	<b>99</b>
2.1	Instalación del motor en banco de ensayos.....	99
2.2	Coste de los ensayos. ....	101
2.2.1	Coste del material fungible. ....	101
2.2.2	Amortización de los equipos. ....	102
2.2.3	Coste de la mano de obra. ....	103
<b>3</b>	<b>Presupuesto total. ....</b>	<b>104</b>



# 1 Introducción.

En este documento se recoge la estimación del coste total del proyecto. Este presupuesto está dividido en apartados correspondientes a las diferentes partes que conforman dicho proyecto, y el coste total de este será la suma de las partes.

Para la elaboración del presupuesto, se han tenido en cuenta los costes asociados a la construcción o compra de piezas necesarias para el desarrollo del proyecto, la amortización de equipos utilizados durante los procesos de instalación del motor o realización de los ensayos presentes en el proyecto, el coste de dichos ensayos y la mano de obra presente en la realización del proyecto.

En desarrollo de este presupuesto, no se han incluido los costes de componentes modificados del motor por necesidad o sensores de medición utilizados para los ensayos, ya que estos han sido proporcionados por el fabricante de acuerdo con el convenio de colaboración firmado con el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos, o el centro ya disponía de los mismos.





## 2 Desglose del presupuesto.

### 2.1 Instalación del motor en banco de ensayos.

Para la instalación del motor en sala se contó con un técnico especialista cualificado con una formación profesional especializada en la disciplina de la mecánica. Esta instalación tuvo una duración total de 2 meses en los cuales se instaló el motor en el banco de ensayo, se instalaron los sensores necesarios para los posteriores estudios y se diseñaron y obtuvieron las piezas especiales necesarias para dicha instalación.

#### **EQUIPOS Y MATERIAL:**

Para la realización del proyecto, no ha sido necesario adquirir los diferentes sistemas auxiliares de medición y control de ensayos, ya que estos estaban en propiedad del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Por ello, en este apartado del presupuesto se incluyen todas las piezas o materiales que se han necesitado durante el desarrollo de las diferentes partes del trabajo.

<b><u>ELEMENTO</u></b>	<b><u>UNIDADES</u></b>	<b><u>PRECIO UNITARIO</u></b>	<b><u>PARCIAL</u></b>
Plato de acople de la transmisión.	1	300,00 €	300,00 €
Plancha de acero 3 mm de grosor para sujeción del motor.	1	85,00 €	85,00 €
Codo 90° de acero.	2	20,00 €	40,00 €
Brida de acople de 3mm de grosor en acero.	4	85,00 €	340,00 €
Perfil de Fasten® 45x45 mm	8 m	14,50 €	116,00 €
Unión 90° para perfil de Fasten® 45x45 mm	12	2,48 €	29,76 €
Base para perfil de Fasten® 45x45 mm	2	5,02 €	10,04 €
Material eléctrico (cableado, regleta y otros)	1	32,51 €	32,51 €
Abrazadera de metal	15	0,70 €	10,50 €
<b><u>TOTAL</u></b>			963,81 €

#### **MANO DE OBRA:**

Para el cálculo del coste derivado de las personas y el tiempo dedicados a dicha instalación se han utilizado los siguientes datos.

En primer lugar, según el manual de procedimiento para la contratación de personal del instituto de investigación CMT aportados por el jefe de personal y gerente del mismo, los salarios están regulados por la Conselleria de Empleo, Industria y

Comercio en su Área de Trabajo y se pueden consultar en el Boletín Oficial de la Provincia de Valencia. Los salarios son los que se muestran a continuación:

- Horas trabajadas al año = [52 semanas/año – (4 semanas de vacaciones/año + 2 semanas días festivos/año)] \* 40 horas/semana = 1840 horas/año.

#### **Técnico de sala**

Salario Anual = 34.469,70 euros

Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 11.030,30 euros/año.

Salario Bruto = 34.469,70 + 11.030,30 = 45.500 euros/año.

Precio de hora trabajada = 45.500 / 1840 = 24,73 euros/hora

#### **Ingeniero**

Salario Anual = 48.333,33 euros

Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 15.466,66 euros/año.

Salario Bruto = 48.333,33 + 15.466,66 = 63.800 euros/año.

Precio de hora trabajada = 63.800 / 1840 = 34,67 euros/hora.

#### **Operario de montaje**

Salario Anual = 23.484,85 euros

Seguridad Social = 32 % Salario Anual = 7.515,15 euros/año.

Salario Bruto = 23.484,85 + 7.515,15 = 31.000 euros/año.

Precio de hora trabajada = 31.000 / 1840 = 16,85 euros/hora

De esta forma se obtiene el siguiente presupuesto parcial.

DESCRIPCIÓN	HORAS	PRECIO POR HORA	PARCIAL
Técnico especialista	320	16,85 €	5.391,30 €
<b>TOTAL</b>			<b>5.391,30 €</b>

Siendo el precio total de la instalación del motor en sala:

Equipo y material	963,81 €
Mano de obra	5.391,30 €
IVA (21%)	1.334,57 €
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>7.689,69 €</b>

## 2.2 Coste de los ensayos.

El coste de la realización de los ensayos está dividido en tres partes. En primer lugar, está el coste del material fungible utilizado en los mismos. En segundo lugar, el coste por amortización de los equipos en uso, y en tercer lugar el coste de la mano de obra.

### 2.2.1 Coste del material fungible.

<b><u>Material</u></b>	<b><u>Unidades</u></b>	<b><u>Precio unitario</u></b>	<b><u>Precio parcial</u></b>
Gasolina	1000 l	1,21 €	1.210,00 €
Transporte de combustible	2	200,00 €	400,00 €
<b><u>TOTAL</u></b>			<b>1.610,00 €</b>

## 2.2.2 Amortización de los equipos.

Los equipos utilizados durante la realización de los ensayos son los siguientes:

<u>EQUIPO</u>	<u>PRECIO</u>	<u>VIDA ÚTIL (años)</u>	<u>HORAS DE FUNCIONAMIENTO</u>
Analizador de emisiones HORIBA MEXA 7100	230.900,51 €	10	70
Banco dinamométrico	200.000,80 €	10	325
Sistema de adquisición de datos a alta frecuencia	26.000,00 €	10	325
Balanza de combustible AVL 733s	15.020,00 €	10	325
Medidor de caudal AVL FlowsoniX Air	20.000,00 €	10	325

Para el cálculo de la amortización de los equipos se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = \left( \frac{C}{H} \right) * h$$

Siendo:

- $A$ : Amortización.
- $C$ : Coste anual en euros.
- $H$ : Vida útil en horas.
- $h$ : Horas de funcionamiento.

De esta forma se obtienen los siguientes costes de amortización:

<u>EQUIPO</u>	<u>COSTE DE AMORTIZACIÓN</u>
Analizador de emisiones HORIBA MEXA 7100	841,82 €
Banco dinamométrico	3.385,43 €
Sistema de adquisición de datos a alta frecuencia	440,10 €
Balanza de combustible AVL 733s	254,24 €
Medidor de caudal AVL FlowsoniX Air	338,54 €
<b><u>TOTAL</u></b>	<b>5.260,15 €</b>

### 2.2.3 Coste de la mano de obra.

<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>HORAS</u>	<u>PRECIO POR HORA</u>	<u>PARCIAL</u>
Ingeniero	325	34,67 €	11.269,02 €
Técnico de sala	325	24,73 €	8.036,68 €
<b><u>TOTAL</u></b>			19.305,71 €

De esta forma, se obtiene el coste total de la realización de los ensayos.

Material fungible	1.610,00 €
Amortización de equipos	5.260,15 €
Mano de obra	19.305,71 €
IVA (21%)	5.496,93 €
<b><u>TOTAL</u></b>	31.672,78 €

### 3 Presupuesto total.

<u>Instalación del motor en sala de ensayos</u>	7.689,69 €
<u>Coste de los ensayos</u>	31.672,78 €

<b><u>PRESUPUESTO TOTAL</u></b>	<b>39.362,47 €</b>
---------------------------------	--------------------

El presupuesto total asciende a **TREINTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS SESENTA Y DOS EUROS Y CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS** con impuestos incluidos.

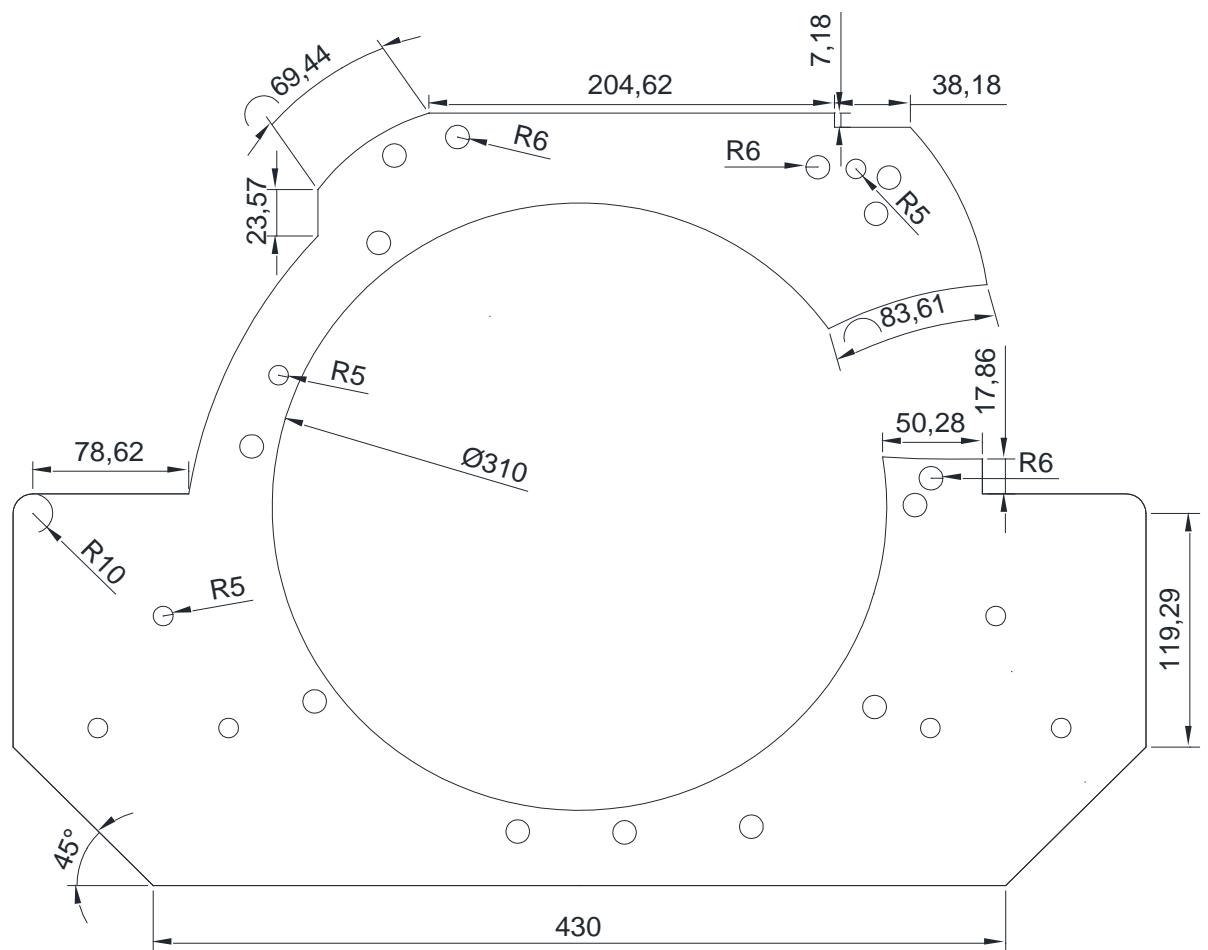
## **DOCUMENTO 3: ANEXO 1. PLANOS**











Diseño de		Aprobado por	Fecha	Fecha	
CÉSAR CALABUIG		CMT	06/09/2017	06/09/2017	
CMT			PLANCHA SUJECIÓN MOTOR		
			Escala 1:4	Edición 1	Hoja 2 / 2



**DOCUMENTO 3: ANEXO 2.**

**BIBLIOGRAFÍA.**



- 2018. *Micro-epsilon.com* [online]
- Especificaciones 4045A, 2018. *Kistler.com* [online]
- Especificaciones 4260A, 2018. *Kistler.com* [online]
- Especificaciones sensor 4049A, 2018. *Web.sensor-ic.com* [online]
- Historia de Renault, 2018. [online]
- Manual de usuario de AVL FlowsoniX, 2018. *Avl.com* [online]
- Manual de usuario de AVL Fuel Balance, 2018. *Avl.com* [online]
- NISSAN MOTOR CO., LTD., 2018, Mirror Bore Coating. *NISSAN TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT ACTIVITIES* [online]. 2018. [Accedido 6 de febrero de 2018].  
[https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/mirror\\_bore\\_coating.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/mirror_bore_coating.html)
- Organization Chart, 2018. *Cmt.upv.es* [online]
- PAYRI GONZÁLEZ, FRANCISCO and MUÑOZ TORRALBO, MANUEL, 1972, *Motores de combustión interna alternativos*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S. Ingenieros Industriales, Sección de Publicaciones.
- Turbocharger speed sensors | Micro-Epsilon America, 2018. *Micro-epsilon.com* [online]

